261

115

Bi
R

Grundzüge der Biologie

für

Unterrichtsanstalten und zur Selbstbelehrung.

Von

Dr. J. Reinke

Professor an der Universität Kiel.

569036
16.9.53

Verlag von Eugen Salzer
Heilbronn 1909

Alle Rechte vorbehalten.

Monotype-Satz u. Druck der Chr. Belser'schen Buchdruckerei, Stuttgart.

Vorwort.

Die hiermit der Öffentlichkeit übergebenen Grundzüge einer allgemeinen Biologie können keine stoffliche Vollständigkeit in der Vermittlung biologischen Wissens anstreben, sondern sie wollen Interesse erwecken für die Betrachtungsweise der Biologie unter Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse biologischer Forschung. Eine weitgehende Beschränkung des überreichen Stoffes war durchaus geboten. Allerdings habe ich mich bemüht, die Lehren der Biologie auf Beispiele von Einzeltatsachen zu stützen; doch die Zahl solcher Beispiele mußte eine geringe bleiben. Es sollte keineswegs ein Universitäts-Pensum in Botanik und Zoologie geboten werden; meines Dafürhaltens leiden die Schulpensen häufig an dem Fehler, mehr Einzelheiten zu umfassen, als der Schüler geistig assimilieren kann. Auch wollte ich die Berücksichtigung der botanischen und der zoologischen Lehrbücher nicht überflüssig machen. Dem Lehrer wollte ich Leitgedanken bieten für eine Erziehung der Schüler zu wissenschaftlicher Auffassung, zur Anschauungs- und Denkweise der Biologie. Soweit die kurze, dem biologischen Unterricht in den Oberklassen höherer Lehranstalten zugemessene Zeit es gestattet, möge der Lehrer eine weitergehende Auswahl treffen aus der Fülle des zur Verfügung stehenden Stoffs nach seinem Geschmack und nach seinen persönlichen Neigungen. Ist er vorwiegend Zoologe, so wird er mehr Beispiele aus dem Tierleben heranziehen, während ich als Botaniker mich in erster Linie auf die Lebensvorgänge bei den Pflanzen gestützt habe.

Die kleine Schrift ist auch dazu bestimmt, außerhalb der Mauern unserer Lehranstalten Freunde zu gewinnen; sie enthält dasjenige, was jeder Gebildete aus der Biologie wissen sollte.

Trotz der Kürze des Büchleins wird man finden, daß in manchen späteren Kapiteln Wiederholungen aus früheren vorkommen. Das lag in meiner Absicht. Es sollte dadurch nicht nur auf besonders interessante Tatsachen mehrfach hingewiesen, sondern diese Tatsachen sollten auch unter die Beleuchtung verschiedener Gesichtspunkte gerückt werden, was auf biologischem Gebiete von großer Bedeutung ist. Anregung zum Nachdenken und zu weitergehenden eigenen Studien will das Büchlein geben; sollte ihm dies gelingen, so hat es einen wesentlichen Zweck erreicht.

Bezüglich der Abbildungen sei noch hervorgehoben, daß außer wenigen Originalzeichnungen überwiegend Bilder aus meinem Lehrbuch der Botanik zur Verwendung kamen; bei diesen wurde, auch wenn sie Kopien waren, die Herkunft nicht besonders angegeben, weil sie aus den Figurenerklärungen im Lehrbuch ersichtlich ist. Für eine Anzahl von Klischees in Kapitel 14, die der Herr Verleger mir freundlichst besorgte, ließ sich die Herkunft nicht ermitteln. Schließlich sei noch bemerkt, daß die anatomischen Abbildungen aus dem Tier- und Pflanzenreiche meistens stark vergrößerte mikroskopische Präparate wiedergeben.

Kiel, im September 1909.

J. Reinke.

Kapitel 1.

Einleitung.

Biologie ist die Lehre vom Leben und von den lebendigen Geschöpfen, den Pflanzen und Tieren. In einem engeren Sinne versteht man darunter auch die Lehre von den Lebensgewohnheiten der Tiere und der Lebensweise der Pflanzen, besonders ihre Anpassungen an die Außenwelt; für diesen Begriff der Biologie im engeren Sinne hat man neuerdings bei uns das Wort Ökologie, in Frankreich das Wort Ethologie in Vorschlag gebracht. Dadurch ist das Wort Biologie seinem eigentlichen Sinne zurückgegeben worden, der die Lebenserscheinungen der Pflanzen und Tiere mit Einschluß des Menschen als einheitliches Wissensgebiet zusammenfaßt und der Chemie, Physik, Mineralogie, Astronomie gegenüberstellt. In diesem Sinne soll auch hier von Biologie gesprochen werden.

Es gibt eine Richtung unter den Naturforschern, die den Lebenserscheinungen jede Selbständigkeit abspricht und daher auch dem Begriffe der Biologie nur eine provisorische Geltung zuerkennt. Sie geht davon aus, daß die Lebenserscheinungen getragen werden von einer Unterlage physikalischer und chemischer Vorgänge, und sie leitet daraus die Hypothese ab, daß das Leben selbst nichts anderes sei, als ein verwickeltes physikalisches und chemisches Geschehen. Diese Richtung, die sich meistens als M e c h a n i s m u s bezeichnet, ist bemüht, alle Lebenserscheinungen physikalisch und chemisch zu erklären. Gegen einen solchen Versuch ist nicht das geringste einzuwenden. Beanstandet muß es nur werden, wenn der Mechanismus angesichts des heutigen Zustandes unserer Kenntnis der Lebenserscheinungen dogmatisch sein P r o b l e m mit einem Ergebnis, mit einer erfahrungsmäßig festgestellten Tatsache verwechselt und

verkündigt, daß alle Lebensvorgänge restlos in physikalischen und chemischen Vorgängen aufgehen. Demgegenüber muß eine besonnene Biologie hervorheben, daß es bis zu dieser Stunde nicht gelungen ist, mehr als einen bescheidenen Bruchteil der Lebensvorgänge mechanisch, d. h. physikalisch und chemisch zu erklären, und daß wir von einem Teil der wichtigsten Lebensvorgänge, z. B. den psychischen Erscheinungen, heute nicht einmal die Möglichkeit absehen, daß einer fernen Zukunft ihre Zurückführung auf mechanisches Geschehen gelingen werde. Darum behauptet sich neben dem Mechanismus in der Wissenschaft auch ein Vitalismus, der mit Nachdruck auf solche Lebenserscheinungen hinweist, die sich der mechanistischen Deutung bisher, vielleicht für immer, entziehen. Eine vorurteilsfreie Biologie hat daher neben den berechtigten Bestrebungen des Mechanismus auch den Gesichtspunkten des Vitalismus Rechnung zu tragen.

Der radikale Mechanismus, der auch in den Lebewesen jedes andere Geschehen als ein physikalisch-chemisches leugnet, ist hervorgegangen aus dem Wunsch, alles Naturgeschehen aus einem einzigen Prinzip heraus, und zwar dem mechanischen, zu begreifen. Weil aber der Mechanismus praktisch nach allen Seiten hin bald an die Grenze seiner Leistungsfähigkeit gelangt, hat man sich neuerdings mehr und mehr von ihm abgewendet.

Man hat es mit dem einheitlichen Erklärungsprinzip nunmehr in anderer Richtung versucht und ist dabei auf den uralten Gedanken des griechischen Philosophen Thales zurückgekommen, der in der Geschichte den Namen des Hylozoismus erhalten hat. Danach sollen nicht nur Menschen, Tiere und Pflanzen lebendig sein, sondern auch Steine, Metallstücke, Wassertropfen, Luftteilchen usw. Wie man sich dies denken soll, was man dann noch unter Leben versteht, bleibt freilich unerfindlich. Es wird darum wohl für den gegenwärtigen Zustand menschlichen Wissens das Richtige sein, an dem jedem unbefangenen Verstande einleuchtenden Gegensatz von lebendig und tot oder unbelebt festzuhalten und von einer Biologie im Gegensatz zu den anorganischen Naturwissenschaften zu sprechen. Denn eine lebendige Katze ist und bleibt etwas anderes als eine tote Katze.

Wenn wir das Leben verstehen wollen, müssen wir seine vollkommenste Ausprägung, den Menschen, in den Vordergrund rücken. Nicht in allen, aber in vielen der wichtigsten Beziehungen sind wir mit uns selbst am besten vertraut. Ich weiß von mir, folglich lebe ich. Mag meine Selbsterkenntnis noch so unvollkommen sein, ich kenne mein inneres, mein geistiges Wesen doch besser als das auch der mir am nächsten stehenden Menschen. Meine eigenen Gefühle gelangen in mir klarer und schärfer zum Bewußtsein als die Gefühle eines andern Menschen oder gar eines Tieres, und von den Pflanzen weiß ich nicht einmal, ob sie überhaupt Gefühle haben. Es gibt keine Tatsachen, die mich zu solcher Annahme zwingen. Ganz unwahrscheinlich dünken mich Gefühle einer Maschine, eines chemischen Elements, eines Lichtstrahls; so unwahrscheinlich, daß ich vorziehe zu sagen: Bei ihnen bestehen nur mechanische, chemisch-physikalische Reaktionen. In der leblosen Welt komme ich mit solchen Reaktionen aus. In der belebten Natur vollziehen sich gleichfalls physikalische und chemische Reaktionen; zu ihnen kommen neben anderen Lebensreaktionen die Gefühle hinzu, unter denen das Selbstbewußtsein das bedeutsamste ist. Ich denke hierbei an die Lebewelt als ein Ganzes mit den höheren Tieren und dem Menschen als ihren vornehmsten Repräsentanten.

In unserm Bewußtsein treten Zustandsänderungen auf, die wir Empfindungen nennen. Soweit diese Empfindungen sich auf unser Inneres beziehen, auf den Zustand unserer Seele, sind sie den Gefühlen verwandt, oder von diesen überhaupt nicht zu trennen. Soweit sie aber unsern Körper betreffen, oder den Körper anderer Menschen, ferner Tiere, Pflanzen, leblose Gegenstände und deren Bewegungen, sprechen wir von einer Außenwelt, die wir mittels der Empfindungen wahrnehmen. In den Empfindungen haben wir es mit Zeichen oder Bildern der Außenwelt zu tun, die Vorstellungen oder Erscheinungen genannt werden. Wir können auch sagen: Die Erscheinungen sind Wirkungen der die Außenwelt zusammensetzenden Dinge auf unser Erkenntnisvermögen. Nur diese Vorstellungen oder Erscheinungen sind Gegenstand unserer Erfahrung und damit unserer Erkenntnis. Die Außendinge, die auf unser Empfindungsvermögen einwirken und jene Vorstellungsbilder

auf der Bühne unseres Bewußtseins auslösen, sind an sich für uns unerkennbar. Weil wir nur die Erscheinungen der Dinge in unserm Innern, also die Vorstellungen wirklich kennen, so vermuten wir nur, daß ihnen Dinge einer uns unerkennbaren Außenwelt entsprechen. Diese Vermutung dünkt uns darum das Richtige zu treffen, weil es ein ursachloses Geschehen nicht gibt, und weil die Annahme einer Außenwelt die plausibelste Erklärung für das Auftreten der Erscheinungswelt in uns sein dürfte. Dazu kommt, daß den einzelnen Sinnesempfindungen, die wir unterscheiden, dem Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten, besondere Sinnesorgane unseres Körpers entsprechen, die das Eintreten jener Empfindungen vermitteln und hierdurch Vorstellungen von Licht, Schall, Geruch, Geschmack und Druck in uns erzeugen. Wenn auch, streng genommen, unser eigener Körper, wie wir ihn empfinden, nur zu unserer Erscheinungswelt gehört, so drängen doch überaus zahlreiche Tatsachen zu dem Schlusse, daß die Sinnesorgane Eingangspforten sind für unsere Wahrnehmung, für das Eindringen von Wirkungen der Außenwelt auf die mit den Sinnesorganen verbundenen Nervenspitzen. Will man diese besonders durch Kant begründete Theorie der Wahrnehmung, die einen Gegensatz zwischen unserer Seele und der Außenwelt aufstellt, verwerfen, so bleibt nichts anderes übrig, als die ganze Vorstellungswelt von Außendingen zu einem rein psychischen, inneren Phänomen zu stempeln, dessen Ursache wir dahingestellt sein lassen.

Der Prozeß des Wahrnehmens und Erkennens, der einerseits zum Denken führt, andererseits durch Hinzutritt des Willens ein Handeln auslösen kann, ist die vornehmste aller Lebenserscheinungen. Seine eingehende Untersuchung geschieht durch die Psychologie, die in diesem Zusammenhange als ein Teil der Biologie aufgefaßt werden kann. Die Psychologie erschöpft sich nicht in der Analyse unserer eigenen Seelenvorgänge, sondern sie umfaßt auch diejenige anderer Menschen. Die vergleichende Psychologie erstreckt sich nicht nur auf alle Rassen des Menschengeschlechts, sondern sie zieht auch das Seelenleben der Tiere in den Kreis ihrer Betrachtung, ja, es fehlt nicht an Stimmen, die sogar den Pflanzen eine Seele zuschreiben, obgleich dafür bis jetzt keine sicheren Unter-

lagen gegeben sind. Wenn der Hylozoismus auch die leblosen Gegenstände beseelt nennen möchte, so ist dies zurückzuweisen, weil damit die Begriffe Leben und Seele jeden Sinn verlieren. —

Eine der wichtigsten Grunderscheinungen auf dem Gebiete der Biologie ist die Mannigfaltigkeit der Lebensformen, die auf der Verschiedenheit der Typen beruht. Man mag noch so viele Versuche machen, die Lebensvorgänge auf ein einheitliches Schema zurückzuführen, jene Mannigfaltigkeit der Gestalten ist ein Gegebenes an Gegensätzen, das sich nicht hinweg disputieren läßt. Der Mensch erhebt sich durch seine geistigen Fähigkeiten hoch über alle Tiere, während er dem Körper nach ein Säugetier ist und von den Zoologen als Zweihänder unmittelbar neben die Vierhänder oder Affen gestellt wird. Die Säugetiere zerfallen wieder in zahlreiche Ordnungen, Familien, Gattungen, Arten; insgesamt stehen sie den Klassen der Vögel, Amphibien, Reptilien und Fische durch den Besitz der Wirbelsäule näher als den übrigen Tieren. In allen Tierklassen wiederholt sich solche Gliederung bis zu den Arten hinab, und das ganze Tierreich umspannt Hunderttausende von Arten. Für das Pflanzenreich gilt ein Gleiches. Aber die Mannigfaltigkeit beschränkt sich nicht auf die Unterschiede der Typen vom Pferd bis zum Regenwurm, vom Apfelbaum bis zur Trüffel und tiefer hinab, sondern Pflanzen und Tiere zeigen namentlich in den höheren, d. h. den vollkommeneren und komplizierteren Gestalten eine weitgehende Mannigfaltigkeit der Teile, die wir als Organisation bezeichnen. Wenn auch diese Organisation eine ungemein vielgestaltige ist bei Wirbeltieren, Insekten, Würmern, bei Bäumen, Kräutern, Pilzen usw., so ist sie andrerseits doch nicht absolut verschieden auch beim Vergleich der einander am fernsten stehenden Lebewesen. Die Zergliederung der Struktur führt nämlich bei Pflanzen und Tieren doch schließlich auf ein gleiches Element der Organisation, und dieses Elementarorgan, das wir bei den höchsten wie bei den niedersten Lebewesen wiederfinden, ist die Zelle. Die unvollkommensten Pflanzen und Tiere bestehen aus einer einzigen, die höchsten aus vielen Millionen mikroskopisch kleiner Zellen oder deren Abscheidungen, und da die Zellen an Größe, Gestalt und feinerer Struktur wieder die größte Verschiedenheit zeigen können, da sie sich in der mannigfachsten

Weise zu den größeren Einheiten der Organe zusammenfügen, bringen sie die Vielgestaltigkeit der Struktur bei höheren Pflanzen und höheren Tieren zu stande. In der Zelle gelingt es, für die Mannigfaltigkeit der Lebewesen eine einheitliche Grundlage der Gestalt und der Organisation nachzuweisen, und sie ist eine der Klammern, die die Gesamtheit der Lebewesen zusammenhalten und sie in Gegensatz bringen zur unbelebten Natur. Alle Teile und Organe eines Lebewesens stimmen in der Einheit seiner Gestalt harmonisch zusammen, indem sie einander wechselseitig bedingen.

Mögen wir die Gesamtheit der Lebensformen in ihrer Mannigfaltigkeit betrachten, oder nur einen einzigen Organismus berücksichtigen, z. B. den Menschen, so ergeben sich für das ganze große Gebiet der Biologie vier verschiedene Forschungsrichtungen. Erstens die Psychologie. Sie ist beschränkt auf diejenigen Lebewesen, bei denen wir deutlich seelische Funktionen von den körperlichen unterscheiden können. Wo dies nicht mit Sicherheit gelingt, tun wir besser, vom Dasein einer Seele abzusehen, wie bei den Pflanzen. Zweitens die Morphologie. Sie betrachtet die Gestalt der Lebewesen sowohl nach ihrer äußeren Gliederung, als auch nach ihrer inneren Struktur. Drittens die Physiologie. Sie untersucht die an den körperlichen Systemen der Tiere und Pflanzen sich abspielenden Vorgänge, die in ihrer Gesamtheit das Leben ausmachen; sie studiert ferner die Beziehungen der einzelnen Organismen zueinander und zu der sie umgebenden unbelebten Natur; sie zieht endlich die Entwicklung der Organismen, ihr Werden und Vergehen in den Kreis ihrer Betrachtung. Schon die Entwicklung aus dem Keim zeigt das Durchlaufen einer Stufenleiter von Formen, und alle körperlichen Lebensvorgänge sind abhängig von der Eigenart der Gestaltung bei Pflanzen und Tieren. Wenn die Wissenschaft daher zwischen Morphologie und Physiologie unterscheidet, so ist dies eine künstliche Trennung, durch die wir die Einheiten der Lebensformen zergliedern, um die Aufmerksamkeit in bestimmte Richtungen zu lenken. In Wirklichkeit hängen Morphologie und Physiologie auf das engste zusammen und scheiden sich nur in Gesichtspunkten, die wir der Natur entgegenbringen. Dies gilt sogar für die Klassifikation der Organismen, ihre Einteilung in Reiche, Klassen, Gattungen,

Familien usw. Denn Tiere und Pflanzen sind nicht nur unähnlich in der Gestalt, sondern die Tiere verhalten sich auch in bezug auf ihre Ernährung verschieden von den grünen Gewächsen, während die Pilze, die doch auch Pflanzen sind, in dieser Hinsicht wieder mehr mit den Tieren übereinstimmen. — Ein viertes und letztes Gebiet der Biologie ist die Pathologie, die Lehre von den Störungen des Lebens, die wir Krankheiten nennen, die so gut bei Pflanzen wie bei Tieren sich finden, und die im Grunde nichts anderes sind als eigenartig ablaufende Lebensvorgänge.

Auf allen diesen Gebieten der Biologie kommen drei verschiedene Methoden der Betrachtung zur Anwendung. Wir können die einzelnen Typen nacheinander biologisch untersuchen: dies nennen wir spezielle Biologie. Wir können die Typen untereinander vergleichen: vergleichende Biologie. Wir können endlich von allen Besonderheiten der Typen absehen und die allen Lebewesen gemeinsamen Eigenschaften zusammenfassend betrachten: allgemeine Biologie. Es ist aber wohl zu beachten, daß auch diese Trennung der Forschungsmethoden niemals eine vollständige und absolute sein wird, sondern daß die dabei zur Anwendung kommenden Gesichtspunkte vielfach einander durchkreuzen und sich miteinander verbinden. In der allgemeinen Biologie abstrahieren wir von Einzelheiten, aber wir werden immer gut tun, auch den allgemeinsten Betrachtungen konkrete Beispiele zugrunde zu legen, und wiederum gewinnen wir nur durch Vergleichung ein Urteil darüber, was wir als wesentlich und was als unwesentlich anzusehen haben.

Wie alle Naturwissenschaft schöpft die Biologie aus der Erfahrung. Forschungsmittel sind ihr die Beobachtung und das Experiment. Andere als durch Erfahrung gewonnene und auf ihr beruhende Naturerkenntnis gibt es nicht. Das gilt also auch für unser biologisches Wissen. Aber dies ist mehr noch als unser Wissen auf anderen Gebieten der Naturforschung ein Stückwerk. Die Biologie ist eine verhältnismäßig junge Wissenschaft; ihre Objekte sind schwieriger zu analysieren als die jeder anderen Naturwissenschaft. Es liegt aber in der Natur des Menschen, und er wird nie darauf verzichten, über die durch Anschauung gewonnenen Bruchstücke des Wissens nachzudenken und sie auf dem logischen

Wege des Urteilens und Schließens unter Mitwirkung der Phantasie zu ergänzen. Solche Ergänzungen der aus der Erfahrung gewonnenen Tatsachen durch das Denken nennen wir Hypothesen. Eine von Hypothesen freie Wissenschaft hat es nie gegeben, wenn es auch mit Recht als Ideal gilt, nur ein Minimum von Hypothesen in den Schatz wahren Wissens einzuflechten. Die Hypothesen sind der Kitt, durch den wir die Mosaiksteine der Einzeltatsachen zu einem zusammenhängenden Naturbilde vereinigen. Wir brauchen auf die Hypothesen auch keineswegs Verzicht zu leisten. Es ist nur unerläßlich, daß wir uns darüber ganz klar sind, welche Bestandteile unserer Naturbilder tatsächlich, welche hypothetisch sind, und daß wir die Hypothesen niedriger bewerten als die Tatsachen. Wir müssen hoffen, möglichst viele Hypothesen einmal durch Tatsachen zu ersetzen. Aus den Hypothesen schöpfen wir die Ideen zur Weiterführung der Forschung, weshalb man auch von Arbeitshypothesen spricht. Wenn die Erfahrungen geistige Bausteine unserer Naturbilder sind, so tun wir aus der Werkstatt unseres Denkens stets andere Elemente hinzu. Die Ergebnisse der Naturwissenschaft, also auch der Biologie, sind immer zusammengesetzt aus Ideen und aus Anschauung, die wir durch die Beobachtung gewonnen haben. Daraus folgt, daß die wissenschaftliche Auffassung im Laufe der Zeiten manchem Wandel unterliegt, wenn auch die wirklich festgestellten Tatsachen und die in den Naturvorgängen aufgefundenen Gesetze unveränderlich bleiben, sofern sie richtig erkannt waren. Während in der Physik die Gesetze ausnahmslose Gültigkeit beanspruchen, sind die meisten sogenannten Gesetze der Biologie nur Regeln von größerer oder geringerer Tragweite, die Ausnahmen zulassen. Indes gibt es auch in der Biologie strenge, ausnahmslose Gesetze, z. B. das Grundgesetz, daß jedes lebendige Wesen von einem anderen Lebewesen ähnlicher Beschaffenheit abstammt, und niemals aus den chemischen Verbindungen, die es zusammensetzen, entsteht, auch wenn man diese in allen möglichen Verhältnissen mischen und den verschiedensten Temperaturen und sonstigen Bedingungen aussetzen würde.

Die allgemeine Biologie läßt von höherer Warte den Blick schweifen über die Pflanzen und Tiere, über die ungeheuere Mannigfaltigkeit der Gestalten und der Lebensweise. Aufmerksam sucht

sie dabei nach dem ruhenden Pol in der Erscheinungen Flucht. Sie findet ihn in der Zelle. Im Studium der Zelle müssen sich ihr daher schon die Grundlagen des Lebens enthüllen. Die Gestaltung und die innere Organisation der Zelle liefern ihr ein Urbild und einen Schlüssel zum Verständnis der Lebensvorgänge. In der Zelle findet sie den elementaren Organismus. In der Zelle findet sie aber auch den Baustein, aus dem die Körper der Pflanzen vom Moos bis zur Tanne, bis zur Palme, bis zur Rose hinauf erbaut sind. Aus Zellen sieht sie den Wurm, den Schmetterling, den Fisch, den Vogel, den Menschen entstehen. Sie findet, daß unser eigener Körper aus nichts anderem zusammengesetzt ist, als aus Zellen und deren Ausscheidungen. Auch das Gehirn ist aus Zellen zusammengesetzt. Doch an diesen Hirnzellen haftet etwas, das wir zwar nennen können, von dessen Dasein wir die größte Gewißheit besitzen, von dem uns aber jede Anschauung fehlt: es ist die Seele. Wie wir eine Stufenleiter der Entwicklung haben von der Keimzelle bis zur fertigen Pflanze, dem fertigen Tier, so ordnen sich auch die Lebewesen von den einfachsten Pflanzen bis zum hirnbegabten Wirbeltier in eine Stufenfolge, auf der uns sehr verschiedene Grade der Ausbildung von Lebensverrichtungen erscheinen. In einer Reihe von Bildern, von den einfachsten Zuständen des Lebens ausgehend, und bis zu seinen höchsten Offenbarungen fortschreitend, wollen wir versuchen, das Wesen des Lebens verständlich zu machen, soweit dies nach dem bescheidenen Stande unseres dermaligen Wissens möglich ist.

Kapitel 2.

Die Zelle.

Durchschneidet man irgend einen Pflanzenteil, Stengel, Blatt, Wurzel, Frucht, usw. und betrachtet diesen Durchschnitt unter dem Mikroskop, so zeigt er sich zusammengesetzt aus lauter kleinen Kammern, die man Z e l l e n nennt. Diese Zellen sind durch feste Wände, die bald hautartig zart, bald dicker und derber sind, voneinander geschieden, wie die Gemächer eines Hauses, und wie hier besitzen zwei aneinander grenzende Zellen eine gemeinsame Wand. Die wichtigeren Teile der Zelle sind im Hohlraume enthalten, sie sind teils plastisch weich, teils flüssig; von ihnen wurde die Zellwand ausgeschieden, wie das Schneckenhaus vom Leibe der Schnecke. Darum spricht man auch von einem Zellleibe im Gegensatz zur Zellwand. Die Zellwand bildet eine schützende Hülle um den zarten Zellleib; durch die Gesamtheit der Zellwände erhält der ganze Körper der Pflanze mit seiner reichen Gliederung die erforderliche Festigkeit. Bemerkenswert ist noch, daß in den ausgewachsenen Teilen der Blätter, des Stengels und der Wurzeln die Zellwände an den Kanten, wo mehrere Zellen zusammenstoßen, in ihrer Mitte sich spalten und auseinanderweichen, wodurch ein lufterfülltes System feiner Kanäle entsteht, die das ganze Zellengewebe durchziehen und an gewissen Stellen in die Atmosphäre ausmünden, wie die Luftgänge des Insektenleibes es tun. In Fig. 1 sind aus einem Schnitt durch

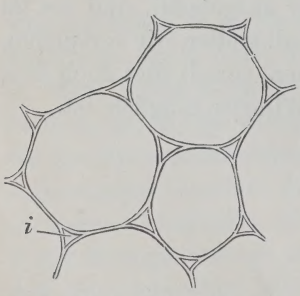

Fig. 1. Durchschnitt dreier Zellen aus der Rinde des Kartoffelstengels. Nur die Zellhäute sind gezeichnet: i. Interzellularräume.

die Rinde des Kartoffelstengels drei Zellen unter Hinweglassung des Inhalts abgebildet mit den dazwischen befindlichen dreikantigen Interzellularräumen. Durch diese Einrichtung der Zwischenzellgänge kann jede Zelle des inneren Pflanzenkörpers mit der Luft in Verbindung treten. Die Gestalt der Zellen kann sehr verschieden sein: bald polyedrisch, bald kugelig, bald tafelförmig flach, bald zu langen Fäden ausgezogen, wie z. B. die Fasern des Leins. In Fig. 2 sind zartwandige Parenchymzellen mit mehreren dazwischen eingebetteten dickwandigen Fasern oder Prosenchmyzellen gezeichnet. Alle diese Zellformen entwickeln sich durch verschiedenartiges Wachstum aus sehr kleinen, gleichartigen, polyedrischen Zellen, wie sie den Keim einer Pflanze im Samenkorn oder die an der Spitze der Stengel und Wurzeln gelegenen Vegetationspunkte zusammensetzen. Während der Körper höherer Pflanzen sich aus Millionen und Milliarden von Zellen aufbaut, ist bei niederen Pflanzen oft nur eine relativ geringe Zahl von Zellen zu einfachen oder verzweigten Fäden aneinandergereiht oder flächenförmig miteinander verbunden. An sie schließt sich die große Schar der einzelligen Pflanzen, bei denen das ganze Individuum nur aus einer einzigen Zelle besteht. Diese letzteren sind es, die uns die Zelle nicht nur als Elementar o r g a n, sondern auch als elementaren O r g a n i s m u s auffassen lassen.

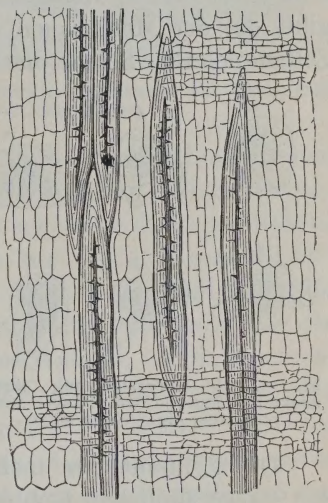

Fig. 2. Zartwandige Parenchymzellen und dickwandige Faserzellen aus einer Chinarinde.

Im Tierreich ist es nicht anders. Wenn bei einem erwachsenen Wirbeltiere auch nur ein Teil der Gewebe noch die Zusammensetzung aus Zellen ohne weiteres erkennen läßt, da in andern, z. B. in Muskeln, die Abgrenzung der Einzelzellen undeutlich wird, oder, wie in den Nervenfasern, lange dünne Ausläufer von Zellenleibern vorliegen, zeigt doch die Entwicklungsgeschichte jedes Wirbeltieres die Entstehung solcher Gebilde aus Zellen aufs deutlichste. Die in

Gallerte eingebetteten Eier des Frosches (Froschlaich) sind verhältnismäßig große Zellen von dunkler Farbe. Aus jeder dieser Eizellen entsteht durch Teilung ein brombeerähnlicher Klumpen von Zellen, die in immer weiterer Teilung den Körper eines jungen Frosches aufbauen und hierbei zu noch mannigfaltigeren Formen heranwachsen, als es bei den Pflanzen der Fall ist. Ein beachtenswerter, wenn auch keineswegs wesentlicher Unterschied zwischen Pflanzenzellen und Tierzellen besteht darin, daß letztere meistens nicht von festen Zellmembranen umgeben sind; doch der Unterschied ist um so weniger maßgebend, als es auch Pflanzenzellen gibt, die der Membranen entbehren, und die man darum nackte Zellen nennt. Solche nackte Zellen sind oft von veränderlicher Form; Fig. 3 zeigt sechs aufeinander folgende Gestaltveränderungen einer nackten Keimzelle von Bangia. Während für den Aufbau eines Wirbeltieres eine ungeheure Zahl von Zellen in Betracht kommt, bestehen die niederen Ordnungen der Tiere aus freilebenden Einzelzellen. Auch in dieser Hinsicht zeigt sich ein weitgehender Parallelismus zwischen Tierreich und Pflanzenreich.

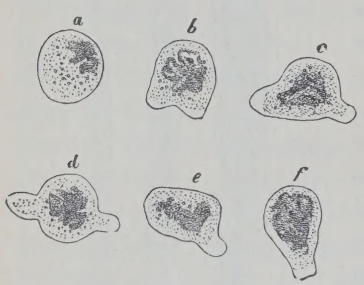

Fig. 3. Gestaltveränderung einer nackten Keimzelle von Bangia atropurpurea, einer roten Alge.

Die Zellhaut der meisten Pflanzenzellen besteht aus einem der Stärke ähnlichen Kohlenhydrat, der Zellulose; wir besitzen sie nahezu rein in der Leinwandfaser, mit andern Stoffen gemengt im Holz. Eine Ausnahme macht die Zellwand der Pilze, da sie aus Chitin besteht, einer stickstoffhaltigen Verbindung, die auch den Panzer der Insekten und Krustentiere bildet. Auch die Zellulose fehlt dem Tierreich nicht ganz; sie findet sich in Zellmembranen des Mantels der Tunicaten, einer Ordnung der Wirbellosen. Zu den wichtigsten Eigenschaften der Zellwand gehört ihre eigentümliche Porosität. Wasser und wässrige Salzlösung durchdringen sie mit derselben Leichtigkeit wie angefeuchtetes Löschpapier. Dennoch sind diese Poren so fein, daß sie auch für die besten Mikroskope unsichtbar bleiben. Im durchfeuchteten Zustande ist die Zellwand

weich und biegsam, im ausgetrockneten kann sie spröde sein, wie im Zellgewebe der zu Mehl zerreiblichen Samen von Pflanzen; sie kann aber auch, wie in der Leinwandfaser, einen sehr hohen Grad von Festigkeit mit einer ins Endlose gehenden Biegsamkeit verbinden, während die Holzfaser zwar gleichfalls fest, aber dabei brüchig ist. Stark verdickte Zellwände sind meistens von mikroskopisch erkennbaren Porenkanälen durchsetzt, die in den Hohlraum der Zelle ausmünden und bei Nachbarzellen mit ihren Enden aufeinander treffen. Diese Porenkanäle oder „Tüpfel" kann man auch als unverdickt gebliebene Stellen der Zellwand auffassen, wie sich aus Fig. 4, einem Schnitt durch das Gewebe des Blasentangs, ergibt; in Fig. 5, einer sehr stark verdickten Zelle aus der Schale der Walnuß, ist die geschichtete Zellwand von verzweigten Porenkanälen durchsetzt. Bei den sogenannten Gefäßen sind der zarten Zellmembran Verdickungsleisten von stabförmiger, ringförmiger oder spiraliger Form aufgelagert, sofern nicht auch ihre Wand getüpfelt ist. Fig. 6 zeigt auf einem Längsschnitt aus dem Stengel des Kürbis sechs verschiedene Gefäße mit den angedeuteten Wandverdickungen; das breite Gefäß rechts ist ein getüpfeltes.

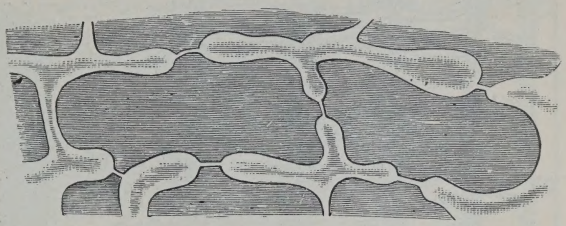

Fig. 4. Tüpfel in den verdickten Zellwänden des Blasentangs (Fucus vesiculosus).

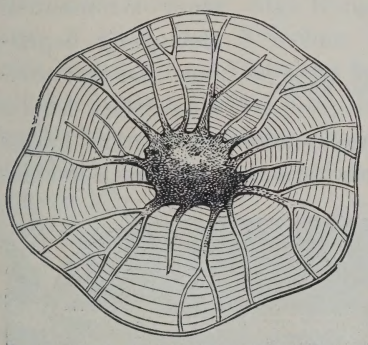

Fig. 5. Querschnitt einer Steinzelle aus der Schale der Walnuß.

Unter den Bestandteilen des eigentlichen Zellleibes sind das Protoplasma und der Zellkern die wichtigsten. Fig. 7 ist eine Zelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia, worin das Protoplasma hell, der Kern und der übrige Zellinhalt dunkel gehalten

sind. Das Protoplasma erfüllt in jungen Pflanzenzellen fast den ganzen Hohlraum; in älteren bildet es meistens einen der Wand anliegenden Schlauch und damit zusammenhängende Stränge oder Bänder, die sich durch den Hohlraum der Zelle hindurchziehen. Es ist von zähflüssiger Beschaffenheit und zeigt viele kleine Körnchen einer farblosen Grundsubstanz eingebettet. Bei manchen Zellen sieht man diese Körnchen unter dem Mikroskop in einer strömenden Bewegung begriffen; bei den meisten Zellen ist die Bewegung zu langsam, um direkt wahrgenommen zu werden. Dafür zeigt aber das ganze Protoplasma fortwährend langsame Verschiebungen seiner Masse, und schon in diesen Bewegungen gibt sich das Leben zu erkennen. Das Protoplasma ist neben dem Zellkern die eigentlich lebendige Substanz der Zelle, der Träger ihrer Lebenserscheinungen. In chemischer Hinsicht ist das Protoplasma ein Gemenge aus Eiweißstoffen, Kohlenhydraten, Fetten, Lecithin, Cholesterin und zahlreichen anderen Verbindungen; die Eiweißstoffe

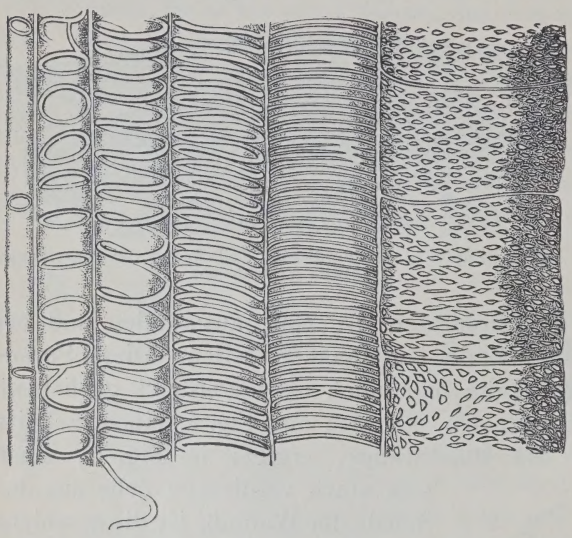

Fig. 6. Ringförmige, spiralige, leiterförmige und getüpfelte Verdickung der Zellwand in den Holzgefässen des Kürbis.

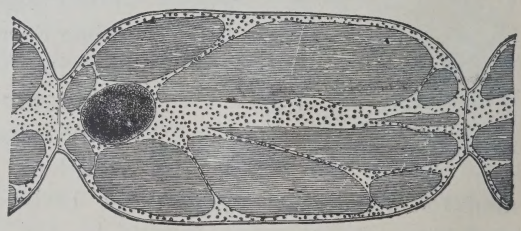

Fig. 7. Zelle aus einem Staubfadenhaar von Tradescantia virginica.

bilden davon etwa die Hälfte, unter ihnen scheinen Phosphorprotëide besonders wichtig zu sein. Auch verschiedenartige Enzyme oder Fermente sind im Protoplasma jeder Zelle enthalten. Im lebenden Protoplasma sind alle diese Verbindungen mit Wasser gemischt, das die Trockensubstanz an Gewicht etwa um das Dreifache übertrifft. Auch im tierischen Muskelfleisch besteht ein Viertel aus Trockensubstanz und drei Viertel aus Wasser.

Gegen die Zellwand ist das Protoplasma durch eine körnchenfreie Hautschicht abgegrenzt. Bei nackten Zellen bildet eine solche dichtere Hautschicht die einzige Hülle. Das Bewegungsvermögen des Protoplasma tritt an nackten Zellen besonders deutlich hervor. Es gibt kriechende und schwimmende Zellen. Kriechende Zellen sind auf der untersten Stufe des Tierreichs häufig (Rhizopoden, Amoeben); sie kehren wieder in den weißen Blutkörperchen der Wirbeltiere. Aus dem Pflanzenreiche gehören dahin die Keimzellen der Schleimpilze und der Alge Bangia. (Vergl. Fig. 3, S. 12.) Das Kriechen kommt zustande, indem die nackte, einer festen Unterlage anhaftende Zelle ihre Körpersubstanz in einer Richtung vorschiebt, oft in mehreren feinen Fortsätzen, und sie auf der entgegengesetzten Seite einzieht. Die Schwimmbewegung wird dadurch vermittelt, daß aus der Hautschicht des Protoplasma besondere peitschenförmige Ruderorgane in Einzahl oder Vielzahl hervorwachsen, die durch rasche, von Zusammenziehungen begleitete Schwingungen den Körper der Zelle im Wasser oft sehr schnell umherbewegen. Solche durch Geißeln fortbewegte Zellen sind die Samenfäden der Pflanzen und Tiere (Fig. 8), sowie die Schwärmsporen oder Schwärmer vieler Algen, Pilze und mancher niederen Tiere. (Fig. 9.) Die Schwärmzelle einer Alge pflegt sich nach einer Periode der Bewegung an einem Stein oder Pfahl im Wasser festzusetzen und darauf die ausgestreckten Geißeln einzuziehen, so daß deren Substanz wieder in die Hautschicht des Protoplasma aufgenommen wird; in anderen

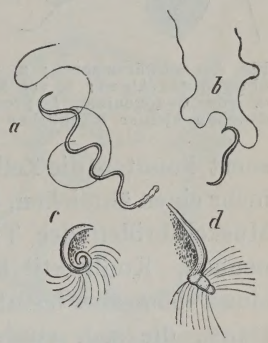

Fig. 8. Spermien oder Samenfäden von Pflanzen: a. von einem Armleuchtergewächs, b. von einem Moos, c. d. von einem Schachtelhalm.

Fällen werden die Geißeln abgeworfen, ehe solch ein Schwärmer eine Zellulosehaut ausscheidet und zu einer neuen Alge heranwächst. Das Ausstrecken und Wiedereinziehen der Geißeln ist für die Beurteilung des Aggregatzustandes des Protoplasma von Wichtigkeit. Man hat das Protoplasma als eine Flüssigkeit ansehen wollen. Allein die Hautschicht und in Übereinstimmung damit die Geißeln sind sicher nicht flüssig, sonst könnten die Zellen mit ihnen nicht rudern. Sie besitzen vielmehr einen ähnlichen, fest-weichen Aggregatzustand, wie die feinsten Muskelfibrillen der Tiere; man kann sie daher auch kontraktil nennen. Kontraktil heißt eine weiche, aber feste Substanz, die sich ausdehnt und dabei dünner, die sich zusammenzieht und dabei dicker wird. Wir haben Grund zu der Annahme, daß im Protoplasma ein System kontraktiler Substanz vorliegt, dessen Zwischenräume von einer wässerigen Flüssigkeit erfüllt sind, und das einen colloidalen Aggregatzustand besitzt.

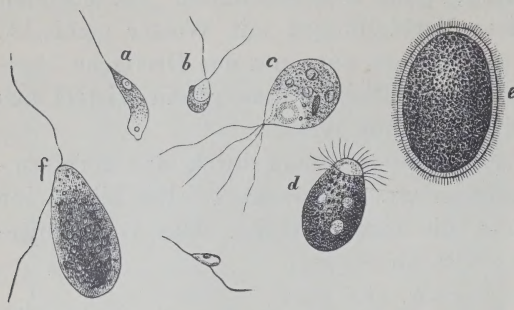

Fig. 9. Schwärmsporen; a. von einem Schleimpilz, die übrigen von Algen: b. von Monostroma, c. von Ulothrix, d. von Oedogonium, f. grosser weiblicher und rechts daneben kleiner männlicher Schwärmer von Zanardinia.

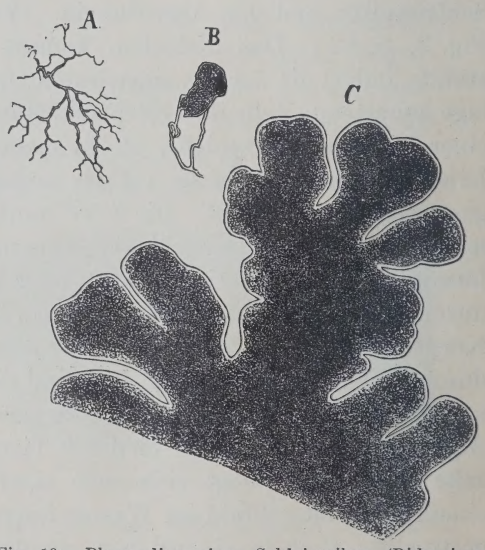

Fig. 10. Plasmodien eines Schleimpilzes (Didymium Serpula); A, B in natürlicher Grösse; C stark vergrößerte Zweigspitze.

Bei einer interessanten Pflanzengruppe, den Schleimpilzen oder Myxo-

myceten, können zahlreiche nackte Keimzellen zu größeren, gleichfalls nackten Protoplasmamassen miteinander verschmelzen, die man Plasmodien nennt. Durch fortgesetzte Ernährung wachsen diese Plasmodien, die auf verwesenden Pflanzenteilen leben, zu ansehnlichen, für das bloße Auge gut erkennbaren, immer aus nacktem Protoplasma bestehenden Gebilden heran. Indem sie unausgesetzt ihre Form ändern, können sie über ihre Unterlage hinweg kriechen. In Fig. 10 sind bei A und B zwei Plasmodien von Didymium Serpula in natürlicher Größe gezeichnet; C stellt den Rand eines dieser Plasmodien bei stärkerer Vergrößerung dar. Man erkennt deutlich den Gegensatz der Hautschicht zur inneren körnigen Masse des Protoplasma.

Im Protoplasma eingebettet und durch eine Membran davon getrennt, findet sich ein gleichfalls farbloser Körper von etwas abweichendem Lichtbrechungsvermögen, den man den Zellkern nennt. (Fig. 11). Gewöhnlich ist in jeder Zelle ein Kern vorhanden, doch gibt es auch Zellen mit mehreren, ja mit zahlreichen, in diesem Falle sehr kleinen Kernen. In den Zellen der niedrigsten Pflanzen, der Bakterien, sind gar keine Kerne nachweisbar (Fig. 12), oder es sind nur Gebilde zu unterscheiden, die als unvollkommene Vertreter der Kerne gedeutet werden können; die in Fig. 12 abgebildeten Kugeln sind aber Schwefeltropfen im Protoplasma und haben nichts mit Kernen zu tun.

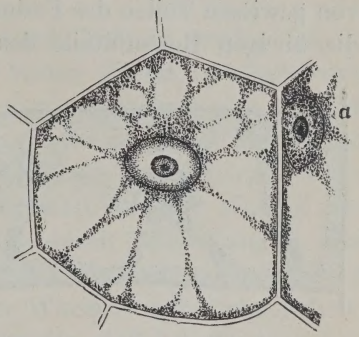

Fig. 11. Zellkerne im Innern des Protoplasmakörpers zweier Gewebezellen von Monotropa; bei a die Zelle nicht ausgeführt. Zwischen den gekörnten Protoplasmasträngen befindet sich wäßriger Zellsaft.

Wenn wir von den Bakterien und den Spaltalgen absehen, bei denen in bezug auf den Kern noch Meinungsverschiedenheiten bestehen, findet sich der Kern in allen übrigen Pflanzenzellen und in allen Zellen der Tiere. Wegen dieser fast allgemeinen Verbreitung muß dem Kern eine hohe Bedeutung für das Zellenleben zugeschrieben werden, wenn wir auch diese Bedeutung leider noch nicht scharf präzisieren können. Die Chemie hat als wichtigen Bestandteil

der Kerne das Nuclein nachgewiesen, eine phosphorhaltige, den Eiweißstoffen nahestehende Verbindung. Die mikroskopische Untersuchung zeigt den Kern umgeben von einer mehr oder weniger deutlichen Membran, die ein Fadengerüst oder Fadenknäuel umschließt, dessen Zwischenräume vom Kernsaft erfüllt sind. Außerdem bemerkt man im Kern meist ein, seltener mehrere rundliche Körperchen, die Kernkörperchen oder Nucleolen genannt werden. Dies ist das Aussehen des Kerns im sogenannten ruhenden Stadium. (Fig. 11, 13 a.) Behandelt man den an sich farblosen Kern mit geeigneten Farbstoffen, z. B. mit Safranin, so zeigt sich, daß der Farbstoff nur von gewissen Teilen des Fadenknäuels aufgespeichert wird, während die übrigen Bestandteile des Kerns sich nicht färben. Man hat danach im Kern eine färbbare oder Chromatin-Substanz und eine achromatische Substanz, die sich nicht färbt, unterschieden. Wenn auch dieser Gegensatz zweifellos in einer chemischen Verschiedenheit begründet ist, so enthüllt er doch zugleich eine feine anatomische Struktur. Endlich sei hervorgehoben, daß in den Zellen der niederen Pflanzen und der Tiere jedem Kerne außen zwei sehr kleine Körnchen anliegen, die man Polkörper oder Zentralkörper genannt hat; da sie den höheren Pflanzen fehlen, kann ihre Bedeutung indes keine allgemeine sein.

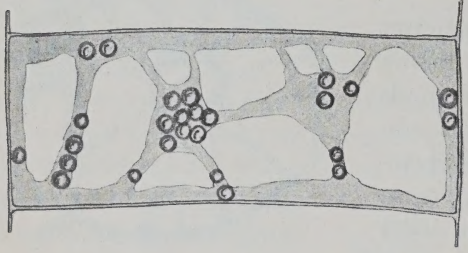

Fig. 12. Kernlose Zelle einer Schwefel-Bakterie (Beggiatoa mirabilis) mit Schwefeltropfen und von Zellsaft erfüllten Hohlräumen im Protoplasma (nach Hinze).

Es ist eine der wichtigsten Entdeckungen der Kernforschung, daß auch in einer ganz jungen Zelle der Kern nicht durch Verdichtung aus dem Protoplasma entsteht, wie man früher glaubte, sondern daß beide Zellenbestandteile ein bis zu einem gewissen Grade voneinander unabhängiges Dasein führen. Wo immer ein neuer Kern gebildet wird, entsteht er durch Zwei- oder Mehrteilung eines alten Kerns. Da nun eine Blütenpflanze, ein Wirbeltier aus Hunderttausenden von Zellen bestehen, die alle aus einer einzigen Keimzelle hervorgegangen sind, so müssen auch alle Kerne der fertigen Tiere

und Pflanzen vom Kerne jener Keimzelle abstammen, aus dem sie durch sukzessive Zweiteilung gebildet wurden. Dieser Vorgang der Kernteilung gehört in seinen Einzelheiten zu den interessantesten Erscheinungen der Biologie; in ihm hat das Mikroskop einen so wunderbar regelmäßigen Ablauf der feinsten Strukturänderungen im kleinsten Raume enthüllt, daß wir nicht daran vorübergehen dürfen. Zudem kommt in Betracht, daß die inneren Umlagerungen eines sich teilenden Zellkerns, die man die Mitose des Kerns genannt hat, in ihren wesentlichen Erscheinungen bei allen Pflanzen und Tieren die gleichen sind, obgleich die einzelnen Arten gewisse Unterschiede erkennen lassen.

Wenn ein ruhender Kern sich durch Teilung verdoppelt, so vollzieht sich die Mitose in folgender Weise: Zuerst vermischt sich im Fadengerüst das Chromatin mit dem Nichtchromatin, so daß die ganzen Fäden gleichmäßig färbbar werden, dabei nimmt der meist kugelige Kern eine Eiform an, wobei die Zentralkörper, wenn sie vorhanden sind, an die Pole der Eigestalt rücken. Hierauf zerfällt der zusammenhängende Kernfaden durch Querteilung in eine Anzahl gleichgroßer Stücke, die man Chromosomen genannt hat und die nun wie Stäbchen oder Würmer sich verschiedentlich krümmen können. Es ist merkwürdig, daß bei den einzelnen Tier- und Pflanzenarten diese Chromosomen in jedem Zellkern in der gleichen Anzahl auftreten: es gibt Arten mit zwei, mit vier, mit acht, mit zwölf, mit sechzehn, mit vierundzwanzig usw. Chromosomen in den Kernen; diese Chromosomen waren im ruhenden Kern latent und treten erst bei der Mitose gesondert hervor. Nehmen wir als Beispiel einen Kern mit vier Chromosomen. Während der eiförmige Körper des Kerns sich zu einer Tonnen-, zuletzt Spindelgestalt reckt, ordnen sich die Chromosomen, bei deren Auftreten der Nucleolus verschwunden ist, in der äquatorialen Zone der Kernspindel. Darauf spaltet sich jedes Chromosom der Länge nach in zwei Stäbchen, so daß nunmehr acht Chromosomen im Äquator der Kernspindel liegen. Unterdes sind in der übrigen Kernsubstanz feine, nicht färbbare Fasern aufgetreten, die Spindelfasern, welche von einem Pol der Spindel zum andern verlaufen. Einige dieser Spindelfasern hängen mit den Chromosomen zusammen, und, wie es

scheint, wird durch Zusammenziehung einer solchen Spindelfaser je ein Chromosom nach dem Pol der Spindel hingezogen in der Weise, daß an jeden Pol vier Chromosomen zu liegen kommen. Die vier Chromosomen an einem Pol der Zelle sind die Hälfte der ursprünglichen, längsgespaltenen Chromosomen, so daß deren Substanz sich symmetrisch auf die beiden Spindelpole verteilt hat. Unter Schwinden der Spindelfasern bildet sich in der äquatorialen Zone der Teilungsfigur nunmehr eine neue Kernmembran aus, während die vier Chromosomen an jedem Pole mit ihren Enden zu einem zusammenhängenden Faden verschmelzen, in dem zuletzt wieder eine Sonderung der chromatischen und der nichtchromatischen Bestandteile eintritt. Der alte Kern ist somit unter den Erscheinungen der Mitose in zwei Tochterkerne zerfallen, in deren jeden vier Chromosomen eingegangen sind, um auch ihrerseits beim Übergang des Kerns in ein neues Ruhestadium wieder latent zu werden. Man sieht also, daß wegen der Längsspaltung der Chromosomen deren Zahl in allen aus einem Mutterkern hervorgehenden Generationen von Tochterkernen sich konstant erhalten muß. In Fig. 13 sind die wichtigsten Stadien der Kernmitose aus Oberhautzellen der Salamanderlarve abgebildet, deren Kerne eine größere Zahl von Chromosomen enthalten.

In a befindet sich der in faseriger Zellsubstanz eingebettete, von zarter Membran umgebene Kern noch im Stadium der Ruhe; die Chromosomen sind in netzartiger Struktur miteinander verbunden. In b haben sich färbbare Kernfäden scharf abgehoben vom nichtfärbbaren Teile des Kerns. In c haben sich die Kernfäden verkürzt und verbreitert und schicken sich an, durch Querteilung in Chromosomen zu verfallen. In d ist unter Schwinden der Kernmembran die farblose Kernspindel aufgetreten, in deren Äquatorialzone sich die Chromosomen zu einer Sternfigur geordnet haben; jedes einzelne Chromosom hat sich bereits der Länge nach gespalten. In e sind die Chromosomhälften zu zwei Tochtersternen auseinander getreten und bewegen sich längs den Spindelfasern gegen die Pole der Spindel. f zeigt dasselbe Stadium wie e, von oben betrachtet, d. h. mit dem Pol der Kernspindel in der Mitte. In g haben sich die Tochtersterne weiter voneinander entfernt, die Tochterchromosomen mehr ver-

kürzt. In h sind die Spindelfasern verschwunden, die Chromosomen beginnen ein Knäuel zu bilden; zwei neue Kernmembranen sind ausgeschieden, und die Zelle hat sich zwischen den beiden

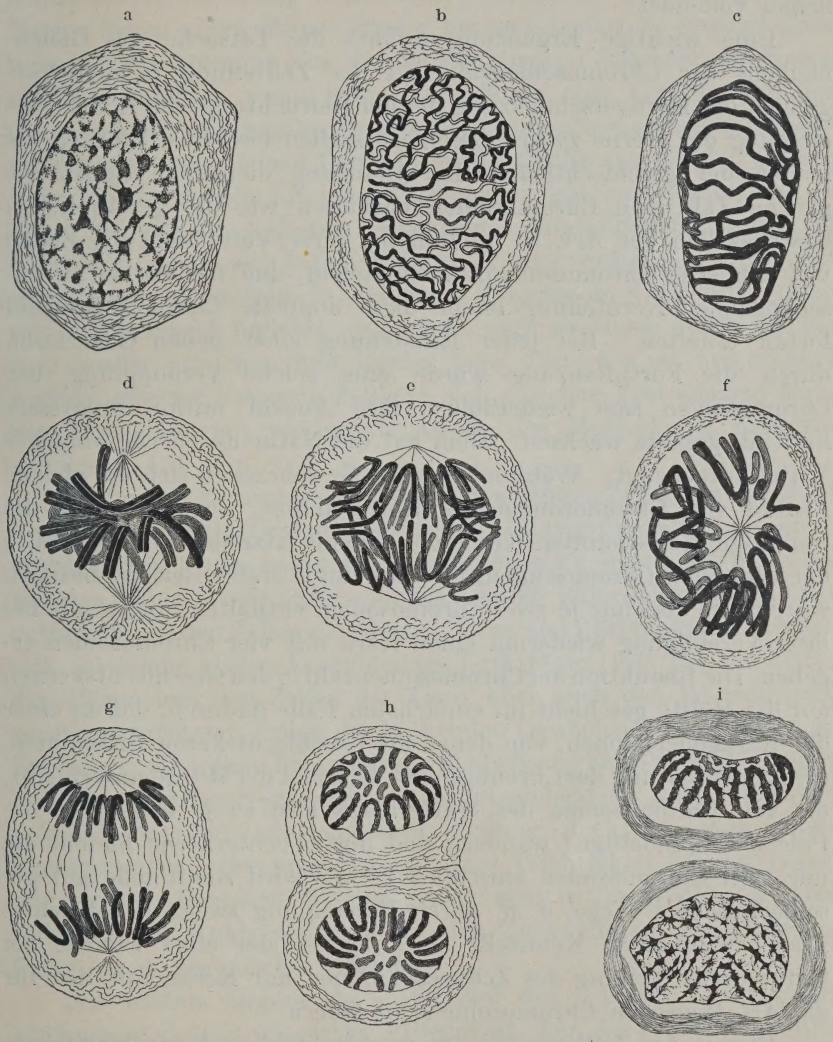

Fig. 13. Oberhautzellen der Salamanderlarve mit den verschiedenen Stadien der Kernmitose; der relativ große Kern ist von faserigem Protoplasma umgeben. (Aus Claus-Grobben, Lehrbuch der Zoologie.)

Tochterkernen in zwei Tochterzellen geteilt. In i ist oben der Kern bereits im Übergang zum Ruhestadium begriffen (Knäuel-Stadium der Chromosomen); unten ist das Ruhestadium im wesentlichen vollendet.

Eine wichtige Ergänzung erfährt die Tatsache des Gleichbleibens der Chromosomenzahl bei der Zellteilung in den Vorgängen der Kernverschmelzung bei der Befruchtung, die in der Vereinigung der Kerne zweier Geschlechtszellen besteht. Würden die beiden der geschlechtlichen Fortpflanzung dienenden Zellen die gleiche Zahl von Chromosomen enthalten wie die gewöhnlichen Gewebezellen der Art, so müßten bei ihrer Verschmelzung Zellen mit doppelter Chromosomenzahl entstehen, und bei der daran anschließenden Kernteilung bliebe diese doppelte Chromosomenzahl fortan erhalten. Bei jeder Entstehung einer neuen Generation durch die Fortpflanzung würde eine solche Verdopplung der Chromosomen sich wiederholen, ihre Anzahl mithin progressiv ins Unbegrenzte wachsen. Dem hat die Natur durch ein einfaches Mittel vorgebeugt. Während in allen Gewebezellen sich die gleiche Anzahl von Chromosomen des Kerns findet, zeigen die für die Vereinigung bestimmten Kerne der Geschlechtszellen nur die Hälfte der typischen Chromosomenzahl; auf unser erstes Beispiel bezogen würden sie also nur je zwei Chromosomen enthalten, und somit bei ihrer Vereinigung wiederum einen Kern mit vier Chromosomen ergeben. Die Reduktion der Chromosomenzahl in den Geschlechtskernen auf die Hälfte geschieht im einfachsten Falle dadurch, daß in einer der Kerngenerationen, von denen die Geschlechtskerne abstammen, die Längsspaltung der Chromosomen während der Mitose unterbleibt, die vier Chromosomen des Mutterkerns also zu je zweien an die Pole der Spindelfigur wandern und dort Tochterkerne bilden, die nur zwei Chromosomen einschließen. Es wird somit jede auf geschlechtlichem Wege, d. h. durch Vereinigung zweier Geschlechtskerne entstandene Keimzelle eines Tieres oder einer Pflanze bei fortgesetzter Teilung des Zellkerns immer nur Kerne mit der für die Art typischen Chromosomenzahl liefern.

Soweit der Zellkern bei der geschlechtlichen Fortpflanzung in Aktion tritt, gilt er als der hauptsächlichste Träger der Vererbung

elterlicher Eigenschaften auf die Nachkommen. Man hat auch Grund zu der Annahme, daß die Erblichkeit ihren wichtigsten, wenn auch nicht ausschließlichen Sitz in den Chromosomen hat. Wenn deren Individualisierung im ruhenden Kern auch verschwindet, um zu Beginn einer neuen Mitose wieder hervorzutreten, so werden doch niemals Chromosomen aus der achromatischen Substanz des Kerns gebildet, sondern, wenn jeder Kernteilung eine Verdopplung der Chromosomen vorausgeht, so geschieht auch diese stets durch Zweiteilung der vorhandenen Chromosomen. Nicht nur für den ganzen Kern, sondern auch für jedes Chromosom gilt das Gesetz, daß es durch Teilung eines älteren Chromosoms entstanden ist, kurz, daß die Chromosomen sich lediglich durch Teilung vermehren. Wie jeder ganze Kern, so ist freilich auch jedes Chromosom durch die Teilung seiner Masse nach halbiert; es muß die normale Masse durch Wachstum wieder erreichen und hierbei vom übrigen Kern aus ernährt werden, wie der halbierte Zellkern sich aus dem Protoplasma Nahrung aneignet, um wieder zur Größe des Mutterkerns heranzuwachsen. —

Außer den Kernen finden sich in den grünen Zellen der Pflanzen noch eigentümliche Organe, in denen das Blattgrün oder Chlorophyll abgelagert ist; man nennt sie Farbträger oder Chloroplasten. Bei den Algen ist oft nur ein einziger großer Chloroplast in der Zelle enthalten. In den Zellen der Moose, Farne und Blütenpflanzen finden sich zahlreiche kleine, linsenförmige Farbträger (Fig. 14); sie fehlen den Pilzen und den Zellen der Tiere, aber auch den Wurzeln und sonstigen farblosen Teilen der blühenden Gewächse. Im Farbträger haben wir eine dem Protoplasma ähnliche farblose Grundsubstanz von dem eingelagerten Farbstoff zu unterscheiden. Auch die Farbträger vermehren sich nur durch Teilung, doch ohne daß innere Umlagerungen erkennbar wären. Ihre Wichtigkeit für das Leben auf unserem Planeten ist eine große, weil in ihnen sich die Assimilation der Kohlensäure, d. h. die Umwandlung anorganischer Substanz in organische vollzieht.

Als weitere Organe der Zelle sind die Vakuolen zu bezeichnen, d. h. mit wässeriger Flüssigkeit, dem Zellsaft, erfüllte Hohlräume im Protoplasma. Bei Pflanzenzellen fließen die Vakuolen

häufig zu einer einzigen großen Zentralvakuole zusammen, die man den Saftraum nennt. Gegen die Vakuolen ist das Protoplasma durch eine Hautschicht abgegrenzt. Obwohl der Zellsaft als Ausscheidung des Protoplasma anzusehen ist, reagiert er doch meistens sauer, während die das Protoplasma selbst durchtränkende Flüssigkeit alkalische Reaktion zeigt. (Vgl. Fig. 7 S. 8, Fig. 11 S. 17 und Fig. 12 S. 18.)

Wie die Kerne, die Chromosomen, die Farbträger, so vermehren sich auch die ganzen Zellen nur durch Teilung; man kennt keine andere Art der Neubildung von Zellen. Die Millionen von Zellen, aus denen der Körper eines Pferdes, eines Apfelbaumes aufgebaut ist, sind alle durch wiederholte Zweiteilung aus der ursprünglichen Keimzelle hervorgegangen; andere Formen der Teilung lassen sich zwanglos auf die Zweiteilung zurückführen. Wenn eine Zelle zur Teilung sich anschickt, so muß eine Verdopplung des Zellkerns oder des Farbträgers vorausgehen, falls diese in Einzahl vorhanden sind; andernfalls würde eine der beiden Tochterzellen kernlos werden. Dies ist der Zusammenhang, in dem die vorausgehende Kernteilung mit der Zellteilung steht. Sind dagegen zahlreiche Zellkerne oder zahlreiche Farbträger vorhanden, so kann die Teilung des ganzen Zellenleibes vorausgehen, die der Kerne und der Farbträger nachfolgen. Die Zellteilung selbst vollzieht sich in der Weise, daß im Innern des Protoplasma und dieses meistens genau halbierend, eine Platte aus Hautschichtsubstanz auftritt, die sich dann bei nackten Zellen in zwei Schichten spaltet, bei den behäuteten Pflanzenzellen aber in ihrem Innern eine Zellulose-Wand ausscheidet. Bleiben die Zellen gewebeartig verbunden, so kann

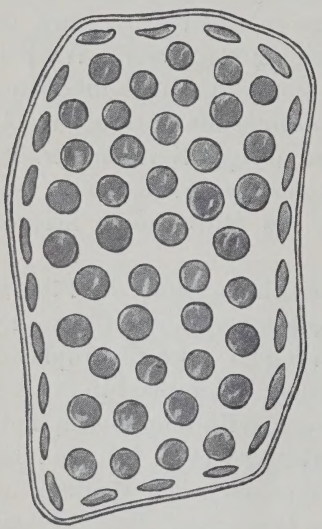

Fig. 14. Von Farbträgern erfüllte Parenchymzelle aus dem grünen Gewebe eines Blattes; das Protoplasma zwischen den Farbträgern ist weggelassen.

auch die neue Zellwand einheitlich bleiben; bei freilebenden Zellen (einzelligen Pflanzen) spaltet sich die Wand in Richtung der Fläche in zwei Hälften, und jeder Tochterzelle fällt eine Wandhälfte zu.

Wir sehen somit, daß das wichtige Grundgesetz der Biologie, nach dem jedes Lebewesen von einem anderen Lebewesen abstammt, nicht nur für die Zelle als elementaren Organismus Geltung hat, sondern auch für deren wichtigste Organe, die Kerne und die Farbträger; ja, innerhalb der Kerne sogar für die Chromosomen. In keinem Falle hat die Entstehung eines neuen Kerns, geschweige denn einer ganzen kernhaltigen Zelle aus bloßem Protoplasma heraus beobachtet werden können. Völlig gescheitert sind auch alle Versuche, Zellen aus einem Gemenge von Eiweißstoffen, Kohlenhydraten und anderen organischen Substanzen entstehen zu lassen. Als theoretisch unmöglich muß auch die Neubildung von Zellen aus anorganischen Verbindungen, wie Kohlensäure, Wasser und Ammoniak erscheinen. Nach dem gesamten chemischen Wissen der Gegenwart hat eine solche elternlose Entstehung von Zellen für ausgeschlossen zu gelten; die sogenannte Urzeugung von Zellen aus leblosem Material ist wohl von einigen Biologen als naturphilosophisches Postulat hingestellt worden, allein nach unseren Erfahrungen kommt sie tatsächlich nicht vor. Wenn man aber glauben machen will, daß vor sehr langer Zeit doch einmal von selbst Urzeugung von Zellen aus Kohlensäure, Wasser, Ammoniak, Salpetersäure habe stattfinden können, so stellt man damit die Konstanz der Naturgesetze in Frage. Wer die Möglichkeit einer Urzeugung durch die uns bekannten physicalischen und chemischen Kräfte behauptet, setzt sich nicht nur mit aller Erfahrung, sondern auch mit jeder gültigen chemischen Theorie in Widerspruch. Wie und wodurch die ersten, an der Erdoberfläche aufgetretenen Zellen entstanden sind, wissen wir nicht und vermögen es nicht einmal zu ahnen. Waren die ersten Zellen aber als Urzellen gegeben, so konnten alle späteren aus ihnen durch Teilung hervorgehen.

Kapitel 3.

Bau und Ernährung der höheren Pflanzen; Vergleich mit den Tieren.

Zu den höheren Pflanzen rechnet man die blühenden Gewächse und die Farne; diese im weitesten Sinne, also mit Einschluß von Bärlapp und Schachtelhalm. Sie stehen auf einer höheren Organisationsstufe als die Moose, Algen, Pilze usw. wegen der vollkommeneren Gliederung ihres Körpers und wegen der komplizierteren anatomischen Struktur. Die Ausprägung der Gestalt steht bei allen Lebewesen in Wechselbeziehung mit ihrer Lebensweise. Je schärfer diese Beziehungen hervortreten, umso leichter werden sie der Anschauung sich einprägen. Dies ist ein Grund, in der Betrachtung der Lebensformen mit den höheren Typen zu beginnen und zu den niederen hinabzusteigen. Allerdings hat auch der umgekehrte Weg seine Berechtigung und seine Vorzüge. Die elementaren Beziehungen von Bau und Verrichtung werden dann in den Vordergrund treten. Hier möge indes der erste Weg beschritten werden, weil eine Anschauung von den höheren Lebensformen bei jedermann vorausgesetzt werden darf.

Eine Kornblume, eine Lilie, ein Baum gliedern sich in Wurzeln, Stengel und Blätter. Blumen und Früchte werden gedeutet als metamorphosierte Sprosse, d. h. solche, deren Blätter eine eigenartige, im Dienste der Fortpflanzung stehende Ausbildung erfahren haben. Die nichtblühenden Teile der Pflanzen stehen im Dienste anderer Lebensverrichtungen. Die Wurzeln befestigen die Pflanze an ihrem Standort und nehmen Nahrung aus dem Erdboden auf. Der Stengel ist Träger der Blattgebilde und verleiht den oberirdischen Teilen Festigkeit und Halt. Die grünen Laubblätter sind

Ernährungsorgane wie die Wurzeln, stehen aber in Beziehung zu den gasförmigen Nährstoffen der Atmosphäre. Es gibt außer ihnen noch andere Blattgebilde in der vegetativen Region der Pflanze, die man Niederblätter und Hochblätter nennt; sie dienen dem Schutze junger, zarter Teile im Knospenstadium: die Niederblätter als farblose Schuppen an den unterirdischen Erdstengeln, den Rhizomen und Ausläufern, ferner als Knospenschuppen an den Zweigspitzen der Sträucher und Bäume (Fig. 15 n). Die Hochblätter sind ähnliche Schuppen unterhalb der Blumen, welche einst deren Knospen, als sie noch mikroskopisch klein waren, einhüllten. Der Schutz und die Umhüllung solcher in der Entwicklung begriffenen Teile ist an den Pflanzen auf das sorgfältigste durchgeführt; auch die am Grunde der Blattstiele bei manchen Pflanzen stehenden Nebenblätter (Fig. 15 s) dienen im unentwickelten Zustande des Sprosses als schützende Hüllen. Die Zweige des Stengels und die Wurzeln verlängern sich durch Wachstum und Teilung von Zellen, die an deren Spitze gelegen sind und eine äußerst weiche und zarte Beschaffenheit besitzen; man nennt diese Zellgruppen Vegetationspunkte. An der Spitze der Stengel sind sie durch die Blattknospen geschützt; bei Holzpflanzen im Winter durch die erwähnten Niederblätter, im Sommer durch junge Laubblätter, wobei immer ein älteres Blatt sich über das nächst jüngere wölbt und der Vegetationspunkt unmittelbar von den jüngsten Blattanlagen umgeben ist. Wenn die älteren Blätter dem ausgewachsenen Zustande sich nähern, so biegen sie sich von der Knospe zurück. In Fig. 16 ist der an der Spitze des Sprosses gelegene Vegetationspunkt von Elodea canadensis, einer untergetaucht lebenden Wasserpflanze, abgebildet, links in der Außenansicht, rechts im Längsschnitt. Das Zellengewebe ist gleichförmig,

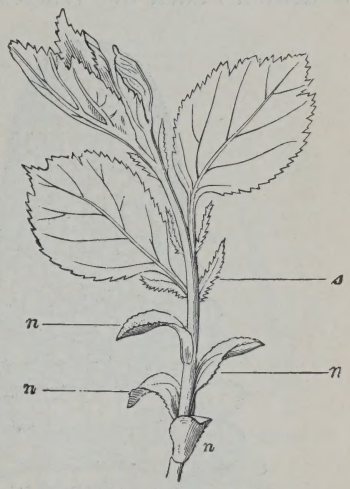

Fig. 15. Junger Laubsproß von Crataegus punctata; n. Niederblätter, s. dem Blattstiel der Laubblätter zugehörende Nebenblätter.

und zahlreiche junge Blattanlagen treten als Auswüchse der Sproßspitze hervor. Die den Vegetationspunkt überwölbenden älteren Blätter, die mit ihm zusammen die Gipfelknospe ausmachen, sind in der Zeichnung fortgelassen. Bei der stets blattlosen Wurzel wird der Schutz des Vegetationspunktes durch eine Kappe aus derbem Zellgewebe, die Wurzelhaube, besorgt. Figur 17 zeigt im Längsschnitt die Wurzelspitze einer Keimpflanze von Helianthus. Durch die Buchstaben dd ist die Grenzschicht des eigentlichen Wurzel-Vegetationspunktes bezeichnet; die darüber liegenden Zellschichten bilden die Wurzelhaube.

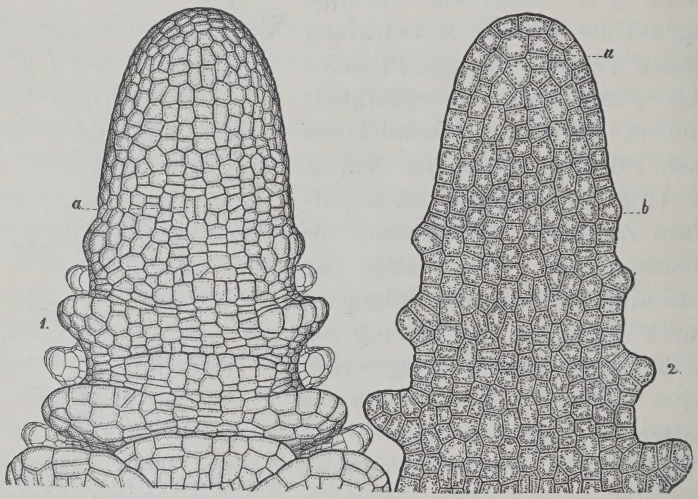

Fig. 16. Vegetationspunkt von Elodea canadensis.

Die grünen Laubblätter sind gewöhnlich papierdünne Platten von verschiedener Größe und wechselndem Umriß, oft durch einen Stiel getragen,; durch die große Oberfläche treten sie mit möglichst vielen Teilen der Luft in Berührung. Die anatomische Zergliederung weist drei Systeme von Zellgeweben in ihnen auf: die Oberhaut, die Leitbündel, das Grundgewebe. Die Oberhaut oder Epidermis ist eine einfache Zellschicht, deren nach außen gekehrte Wände verdickt und mit einem firnisartigen, wasserdichten Überzuge versehen sind, den man Cuticula nennt. Nur an einzelnen

Stellen tritt durch die Oberhaut des Blattes hindurch das System der inneren, luftführenden Zwischenzellgänge mit der Atmosphäre in Verbindung, sonst grenzen die Oberhautzellen lückenlos aneinander und dienen zum Schutz der inneren, zarten Gewebe des Blattes. Jene Lücken in der Oberhaut, durch die Luft in das Blatt einzudringen vermag und wieder ausgeschieden werden kann, nennt man ihrer Form wegen Spaltöffnungen. Jede Spaltöffnung ist von zwei halbmondförmigen Zellen begrenzt, die Schließzellen heißen, weil durch ihre Gestaltveränderung die Spaltöffnung ver-

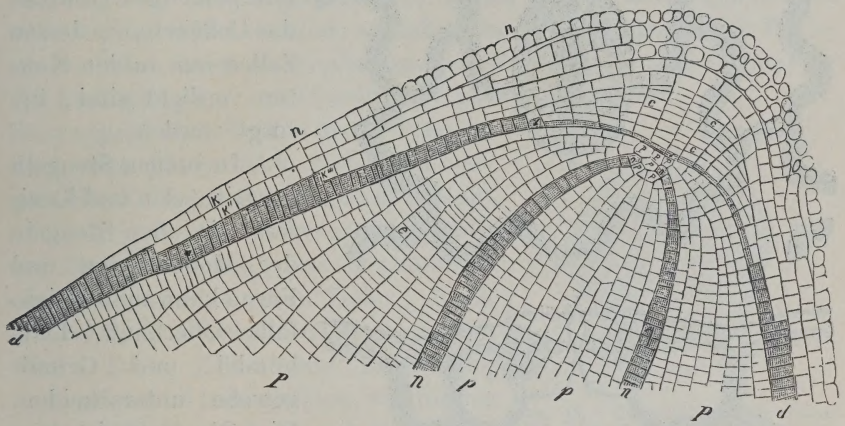

Fig. 17. Vegetationspunkt einer Wurzel aus dem Samen von Helianthus annuus im Längsschnitt.

engt oder erweitert werden kann. In Figur 18 sind oben die Umrisse einiger Oberhautzellen dargestellt, sowie eine von den beiden Schließzellen umgebene Spaltöffnung in der Flächenansicht eines Blattes; darunter ist ein Durchschnitt durch die Oberhaut mit ihrer Cuticula und den zwei Schließzellen einer Spaltöffnung (S) abgebildet mit der durch AH bezeichneten sogenannten Atemhöhle darunter, einem stark erweiterten Zwischenzellraum. Unter der Epidermis bemerkt man Abschnitte zweier grüner Zellen des inneren Blattgewebes, die zahlreiche, scheibenförmige Farbträger enthalten.

Die Leitbündel des Blattes treten schon für das unbewaffnete Auge als Rippen oder Adernetz hervor. Sie dienen der Fortleitung von Wasser und Lösungen organischer Substanzen; ihr

etwas komplizierter anatomischer Bau wird später bei Besprechung des Stengels, in dem sie gleichfalls vorkommen, dargelegt werden. Das Grundgewebe endlich besteht aus zartwandigen Zellen, die mehr oder weniger reich an grünen Farbträgern oder Chloroplasten sind, doch finden sich in vielen Blättern auch Stränge und Platten dickwandiger Faserzellen, die dem ganzen Blatte zur Festigung dienen. In anderen Fällen kann diese innere Festigung durch ein knorpelartiges Gewebe, das Collenchym, dessen Zellen nur an den Kanten verdickt sind, besorgt werden.

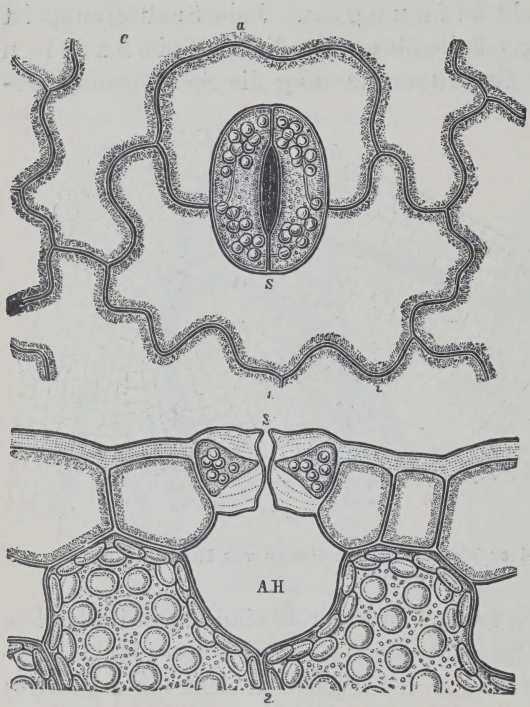

Fig. 18. Spaltöffnung der Unterseite des Blattes von Thymus Serpyllum.

In jungen Stengeln der Dicotylen und Koniferen, in allen Stengeln der Monocotylen und Farne kann man gleichfalls Oberhaut, Leitbündel und Grundgewebe unterscheiden. Die Oberhaut ist von ähnlicher Beschaffenheit wie bei den Blättern. Die Leitbündel durchziehen den Stengel der Länge nach und stehen mit dem Leitbündelsystem der Blätter in Verbindung; alles zwischen Oberhaut und Leitbündeln liegende Gewebe nennt man Grundgewebe. Auf dem Querschnitt des Stengels bei Dicotylen und Koniferen zeigen sich die Leitbündel in einem Kreise angeordnet, bei den Monocotylen über die Querschnittsfläche zerstreut; bei den Farnen ist ihre Anordnung eine sehr verschiedene. Betrachten wir den Bau eines Dicotylen-Leitbündels etwas genauer, so kann man daran drei Teile

unterscheiden: den Bastteil, das Cambium, den Holzteil. Der Bastteil ist nach außen gekehrt und enthält typisch dreierlei Gewebs-Elemente: die Bastfasern, die Siebröhren und das Bastparenchym. Die Bastfasern sind mehr oder weniger langgestreckte, dickwandige Zellen mit zugespitzten Enden, deren Inhalt nach ihrer Ausbildung abstirbt; sie sind für die Pflanze von Bedeutung durch die mechanischen Eigenschaften ihrer Wände, auf deren Festigkeit und Biegsamkeit schon hingewiesen wurde, und die z. B. die Bastfasern des Leins und des Hanfs technisch so wertvoll machen. Die Siebröhren gehen aus Längsreihen von Zellen hervor, deren Querwände siebartig durchlöchert sind, so daß mehr oder weniger derbe Protoplasmafäden durch sie hindurchgehen (Fig. 19); sie sind Organe für die Fortbewegung von Eiweiß und andern organischen Stoffen in der Pflanze, darin den Blutgefäßen der Tiere vergleichbar. Das Bastparenchym besteht aus kürzeren oder längeren, gleichfalls eiweißreichen Zellen. Das Cambium ist eine schmale Platte von Zellen, durch die der Bastteil vom Holzteil geschieden wird. Diese Zellen sind zartwandig und andauernd teilungsfähig, was für das spätere Dickenwachstum der Stämme von großer Bedeutung ist. Im Holzteil unterscheidet man Holzfasern, die den Bastfasern entsprechen, Holzgefäße und Holzparenchym. Die Holzgefäße gehen aus Zellenreihen hervor, deren Querwände aufgelöst werden und deren Inhalt zuletzt in die benachbarten Zellen auswandert. Dadurch werden die Holzgefäße zu hohlen Röhren, die der Leitung des Wassers in der Pflanze dienen. Die eigentümliche, ringförmige, spiralige, netzartige oder getüpfelte Verdickung der Längswände schützt die Gefäße vor einer Zusammendrückung durch das Wachstum der umgebenden Gewebe. Figur 20 ist ein Längsschnitt durch ein dicotyles Leitbündel; wegen der einzelnen Bestandteile vergleiche man die Figurenerklärung. Die Gefäße des Stengels stehen mit den Gefäßen im Adernetz der Blätter in Verbindung, so daß ein System zu-

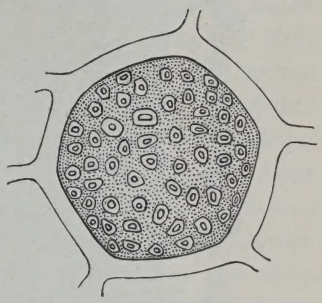

Fig. 19. Durchlöcherte Querwand einer Siebröhre des Kürbis (Cucurbita Pepo).

sammenhängender Röhren alle Zellen des zarten Grundgewebes der Pflanze mit dem von der Wurzel aufgenommenen Wasser versorgt. — Das Holzparenchym besteht aus allerlei Zellen, die chemischen Vorgängen im Leitbündel dienen. Die Leitbündel der Monocotylen und Farne weichen im Bau etwas ab von denen der Dicotylen, vor allem fehlt ihnen die Cambiumplatte.

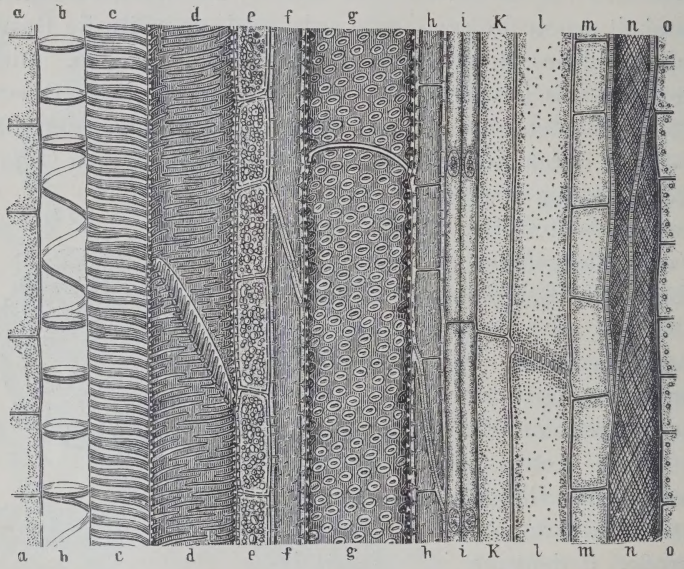

Fig. 20. Schematisierter Längsschnitt eines dicotylen Leitbündels; a. Markparenchym; b. c. Ring-Spiralgefäße; d. Netzgefäß; e. Holzparenchym; f. Holzfasern; g. Tüpfelgefäß; h. gefächerte Holzfasern; i. Kambiumzellen; k. Geleitzellen; l. Siebröhre; m. Bastparenchym; n. Bastfasern; o. Rindenparenchym.

Das Wachstum in die Dicke, welches Stengel und Stämme der Dicotylen und Nadelhölzer zeigen, wird dadurch eingeleitet, daß die Cambiumplatten der einzelnen Leitbündel sich aus dem Grundgewebe zu einem geschlossenen Cambiumzylinder ergänzen, in dessen Zellen bald lebhafte Teilung platzgreift, wobei die nach außen abgeschiedenen Zellen sich in sekundäres Bastgewebe, die nach innen fallenden Teilzellen in sekundäres Holz verwandeln. Weil meistens viel mehr Zellen zu sekundärem Holz als zu sekundärem Bast werden, besitzt die Rinde alter Baumstämme, die hauptsächlich aus

sekundärem Bast und dessen Umwandlungsprodukten besteht, einen weit geringeren Durchmesser als der Holzkörper, den wir für Tischler- und Zimmermannsarbeiten benutzen. Im sekundären Holz der Bäume dienen die Gefäße, wie in den ursprünglichen Leitbündeln, der Wasserleitung, die Fasern der Festigkeit, das Parenchym, worunter man immer kürzere Zellen mit mehr oder weniger normal stehenden Querwänden versteht, chemischen Vorgängen. Ein Teil der Parenchymzellen verläuft von der Achse des Holzkörpers strahlenförmig gegen seine Peripherie und hat den Namen der Markstrahlen erhalten; sie sind meist schon für das unbewaffnete Auge erkennbar. Ebenso lassen sich auf dem Querschnitt des Holzkörpers mit bloßem Auge Jahresringe unterscheiden, aus deren Zahl man das Alter des Stammes oder Zweiges bestimmen kann. Die Jahresringe kommen dadurch zustande, daß im Frühling Holz mit viel weiteren Gefäßen als im Herbst gebildet wird; weil hierauf im Winter Stillstand der Holzbildung eintritt, so grenzt das dichte Herbstholz des einen Jahres unmittelbar an das lockere Frühlingsholz des nächsten Jahres, und dieser Kontrast macht sich dem Auge bemerkbar. — Bei Monocotylen und Farnen fehlt den Stämmen das sekundäre Dickenwachstum, was mit dem Fehlen der Cambiumplatte in deren Leitbündeln übereinstimmt. Denn nur aus dem Cambium heraus können die Stämme unserer Waldbäume Jahrhunderte hindurch in die Dicke wachsen.

In der Wurzel können wir Oberhaut, Rinde und Zentralzylinder unterscheiden. Die Rinde entspricht dem peripherischen Grundgewebe des Stengels. Im Zentralzylinder liegen Gruppen von Gefäßen und von Siebröhren, durch Parenchym getrennt und nicht in der Weise zu Leitbündeln verbunden wie in Stengel und Blatt. Der Bau des Zentralzylinders und der Wurzel überhaupt ist bei allen Klassen der höheren Pflanzen im wesentlichen der gleiche, während im Bau des Stengels so erhebliche Verschiedenheiten vorkommen. Die Oberhaut der Wurzel unterscheidet sich von derjenigen der Blätter und des Stengels durch das Fehlen einer Cuticula und der Spaltöffnungen. Die Außenwände ihrer Zellen sind zart und leicht durchlässig für Wasser- und Salzlösungen. Außerdem sind zahlreiche Oberhautzellen der Wurzel zu langen, dünnen Schläuchen ausgestülpt,

durch die eine bedeutende Vergrößerung der Oberfläche herbeigeführt wird; man nennt sie Wurzelhaare. Ältere Wurzeln der Dicotylen und Nadelhölzer besitzen ein sekundäres Dickenwachstum, das im Zentralzylinder seinen Ursprung nimmt, und durch das ein ähnlicher Holzkörper hervorgebracht wird, wie beim Stamm, mit Jahresringen und Markstrahlen.

Die Wurzel einer Pflanze verbreitet sich in zahlreichen Verzweigungen, deren Umfang dem der oberirdischen Teile wenig nachsteht, im Erdboden; dadurch wird die Pflanze an die Scholle gefesselt und ihr der erforderliche Halt verliehen. Gewaltsame Entwurzelung würde den Untergang der Pflanze herbeiführen, wie wir nicht selten an unsern Waldbäumen sehen können. Die Organisation der Wurzeln steht aber auch in wichtigen Beziehungen zur Ernährung der Pflanze. Die Pflanzen brauchen ihren Aufenthalt nicht zu wechseln; denn ihre Nahrung ist überall im Erdboden verbreitet, freilich in höchst verdünntem Zustande. Daher entfaltet das Wurzelsystem in seinen feinsten Verzweigungen gegen den Erdboden eine sehr große Oberfläche, die der Aufsaugung der Nährstoffe dient.

Dieser Boden mit seinen darin fein verteilten Nährstoffen ist vergleichbar dem rohen Speisebrei, der den Darm der Tiere durchwandert, und dem die Schleimhaut des Darms die eigentlichen Nährstoffe entnimmt. Die Pflanzennährstoffe sind, wie schon bemerkt, als sehr verdünnte Lösungen in dem den Boden durchtränkenden Wasser enthalten. Es sind Mineralstoffe, wie sie auch das Quell- und Flußwasser mit sich führt. An Pflanzennährstoffen finden sich im Boden Wasserstoff und Sauerstoff in Form von Wasser; Stickstoff als salpetersaure und Ammoniak-Salze; Schwefel und Phosphor als schwefelsaure und phosphorsaure Salze; ferner die Metalle Kalium, Calcium, Magnesium und Eisen als Verbindungen der genannten Säuren oder als Verbindungen von Kohlensäure und von Chlor. Nur der Kohlenstoff, der die Hauptmasse des Gewichts der vegetabilischen Trockensubstanz ausmacht, wird von den Pflanzen nicht aus dem Boden, sondern aus der Luft aufgenommen. Früher glaubte man, daß der dem Boden beigemengte Humus, d. h. die in Verwesung begriffenen Reste pflanzlicher und tierischer Leichen, den Pflanzen als Kohlenstoffquelle diene; das geschieht aber nur in

wenigen Ausnahmefällen. Dagegen ist die Beimischung von Humus zu den mineralischen Bodenbestandteilen von Wichtigkeit für das Pflanzenleben, weil dadurch der Boden lockerer und wärmer wird, und weil der Humus geeignet ist, Pflanzennährstoffe festzuhalten, die sonst durch den Regen ausgelaugt werden würden. Auf einer ähnlichen Wirkung beruht die Fruchtbarkeit des Lehmbodens. Die Tonerde selbst ist kein Nährstoff für Pflanzen; allein sie bindet die Nährstoffe gegenüber der Wirkung des Regens, während der aus Quarzkörnern bestehende Sandboden dies nicht tut und daher leicht ausgewaschen wird.

Die in Wasser gelösten Nährstoffe gelangen in das Innere der Wurzeln, weil die Bodenflüssigkeit leicht durch die Membranen der Wurzelhaare und der Oberhautzellen hindurchzufiltrieren vermag. Auch einige feste Mineralien, z. B. kohlensaurer und phosphorsaurer Kalk, können den Wurzeln als Nährstoffe dienen, indem sie von ihnen in Lösung gebracht werden. Die Wurzelhaare schmiegen sich dabei innig jenen festen Bodenteilchen an und führen sie durch Ausscheidung einer Säure in den gelösten Zustand über.

Für die Aufsaugung der Bodenflüssigkeit durch die Wurzeln kommen auch die oberirdischen Teile der Pflanzen in Betracht. Aus den Blättern, und zwar aus deren Spaltöffnungen, entweicht unausgesetzt Wasserdampf in die Atmosphäre, sofern diese nicht etwa selbst dampfgesättigt ist. Man nennt diesen Vorgang die Transpiration der Pflanzen. Der durch die Transpiration entstehende Wasserverlust der Zellen in den Blättern wird durch einen in die Wurzeln eintretenden und in den Gefäßen der Leitbündel aufsteigenden Wasserstrom ersetzt. Das ist schon darum notwendig, weil die Blätter sonst welken würden. Schneidet man einen Zweig ab, ohne die Schnittfläche sofort in Wasser einzutauchen, so hängen die Blätter bald schlaff herab. Dies rührt daher, daß in normalem Zustande die Zellen der Blätter prall mit Wasser gefüllt sind, d. h. der hydrostatische Druck ihres Zellsafts erreicht den Wert von 5 bis 7 Atmosphären. Dadurch wird eine bedeutende Spannung der Membranen herbeigeführt, und durch diese Spannung erhalten Blatt und Stengel ihre Straffheit. Man nennt diese Saftspannung der Zellen ihren Turgor oder ihre Turgeszenz, und dieser Turgor darf keine Ver-

minderung erfahren, wenn die Blätter straff bleiben sollen. Es muß ihnen daher durch die Wurzeln aus dem Boden soviel Wasser zugeführt werden, als in der Transpiration abdunstet; dabei wirkt die Transpiration als eine S a u g u n g, die sich durch den Stengel bis in die Wurzelspitzen hinein fortpflanzt. Das Wasser wird somit in den Gefäßen emporgesaugt. Nun ist aber die Bodenflüssigkeit kein reines Wasser, sondern eine Lösung von Pflanzennährstoffen, und diese Nährstoffe verbreiten sich in den Gefäßen durch alle Gewebe der Pflanze und werden von den Zellen aus den angrenzenden Gefäßen aufgenommen, um eine weitere chemische Verarbeitung zu erfahren. Für den Durchtritt der Nährstoffe aus den Gefäßen in die Zellen sind die physikalischen Gesetze der Diffusion und der Endosmose maßgebend. Wäre die Lufthülle der Erde andauernd mit Wasserdampf gesättigt, so würden die Nährstoffe auch nur nach diesen Gesetzen der Endosmose aus dem Boden in die Wurzeln eintreten und von Zelle zu Zelle sich fortbewegen können. Das würde so langsam vor sich gehen, daß höhere Bäume nicht existenzfähig sein dürften. Tatsächlich verdunstet aber ein Hektar Buchenwald täglich im Durchschnitt 30 000 Liter Wasser aus den Blättern; und wenn wir rechnen, daß in jedem Liter der Bodenflüssigkeit ein Gramm Nährsalz enthalten war, so würde, da reines destilliertes Wasser bei der Transpiration entweicht, der Hektar Buchenwald täglich 30 Kilogramm Nährsalz aus dem Boden aufnehmen. Meistens ist indes der Nährstoffgehalt der Bodenflüssigkeit ein weit geringerer.

Unter allen Nährstoffen der Pflanzen ist der K o h l e n s t o f f der wichtigste. Er beträgt in den Pflanzen etwa die Hälfte von deren Trockengewicht. Die grünen Gewächse entnehmen ihren Kohlenstoff ausschließlich einer anorganischen Kohlenstoffverbindung der Luft, der Kohlensäure oder nach genauerer chemischer Ausdrucksweise dem K o h l e n d i o x y d. Diese Verbindung, die auch als Endprodukt aller Verbrennungen von kohlenstoffhaltigen Substanzen entsteht, setzt sich zusammen aus einem Teile Kohlenstoff und zwei Teilen Sauerstoff. Das Kohlendioxyd bildet nur ein fünfundzwanzigstel Prozent des Gasgemenges, das wir atmosphärische Luft nennen; es bietet sich im freien Naturlauf also den Pflanzen in ähnlicher Verdünnung dar, wie die Nährsalze des Erdbodens. Dennoch

sammelt ein Hektar Buchenwald im Laufe des Sommers etwa zwei Tonnen festen Kohlenstoff ein, und im Laufe des ganzen Jahres dürfte die Gesamtheit der Pflanzen des Festlandes und der Meere 15 bis 16 Millionen Tonnen feste Kohle in ihrem Innern ablagern, die sie dem gasförmigen Kohlendioxyd der Luft entzogen haben. Es dürfte dieser Betrag etwa 2—3 Prozent des in der Luft des ganzen Erdballs vorhandenen Kohlendioxyds entsprechen; für den Ersatz dieses von der Pflanzenwelt absorbierten Quantums von Kohlendioxyd wird durch die verschiedensten Verbrennungsprozesse an der Erdoberfläche gesorgt. Die Aufnahme der Kohlendioxyd-Teilchen geschieht durch die Spaltöffnungen der Blätter, aus denen sie in die Interzellularräume geraten und weiterhin durch die Zellwände in das Protoplasma und in die grünen Farbträger eindringen, wo ihre Verarbeitung zu organischen Kohlenstoffverbindungen erfolgt. Nur durch die große Oberfläche der Laubblätter werden soviele Berührungspunkte des Pflanzenleibes mit der Atmosphäre geschaffen, daß das in so geringer Menge vorhandene Dioxyd überall eindringen und dadurch den Kohlenstoffbedarf der Pflanze bestreiten kann.

Ihrer ganzen Umgebung gegenüber sehen wir sowohl an den oberirdischen Teilen der Pflanze wie an den Wurzeln das Prinzip der Entfaltung möglichst großer aufsaugender Flächen zur Geltung gebracht, wodurch eine ausreichende Versorgung der Pflanze mit Nährstoffen gewährleistet wird. Weil diese Nährstoffe überall in der Umgebung der Pflanze vorkommen und ihr von allen Seiten zuströmen, braucht sie zum Zweck der Nahrungsaufnahme den Standort nicht zu wechseln. Anders das Tier, wobei besonders der Wirbeltiere und Insekten gedacht sein möge. Sie leben von organischen Substanzen, die zuvor in Pflanzen bereitet wurden, und da diese Stoffe nicht das Tier von allen Seiten umgeben, so muß der Tierkörper zum Zweck der Nahrungsfindung und Nahrungsaufnahme beweglich eingerichtet sein. Die Vierfüßer, die Vögel, die Schlangen, die Fische, die Bienen und Ameisen sind Beispiele dafür, wie der Tierkörper auf verschiedene Weise und in Abhängigkeit vom Medium, darin das Tier lebt, zum Gewinn seiner Nahrung eingerichtet ist. Die leichte Beweglichkeit des

Tiers bringt eine geringe Oberfläche des Körpers im Vergleich zur Masse mit sich. Darin, wie in der besonderen Ausgestaltung der Bewegungsorgane, haben wir eine Anpassung der Tiere an die Aufgaben ihrer Ernährung zu sehen. Der Nahrung selbst gegenüber zeigen aber auch die Tiere eine große Entfaltung aufsaugender Flächen. Die Gesamtoberfläche der Hohlräume in der Lunge des Menschen, in die der atmosphärische Sauerstoff bei der Atmung eindringt, beträgt etwa 81 Quadratmeter; wir können sie der Blattoberfläche eines kleinen Baumes vergleichen. Die Gesamtheit der aufsaugenden Magen- und Darmflächen ist ebenfalls sehr beträchtlich, sie entspricht den aufsaugenden Flächen der Wurzeln des Baumes. Bei der Pflanze sind die Nährstoffe aufnehmenden Flächen nach außen, bei den Tieren nach innen gekehrt; das ist ein wesentlicher Unterschied im Aufbau beider. Bei den Pflanzen, die sich nicht zu bewegen brauchen, können sie nach außen gekehrt sein; bei den Tieren müssen sie so kompendiös wie möglich in den Leibeshöhlen verpackt sein, damit der Tierkörper befähigt ist, schnelle und verwickelte Bewegungen auszuführen. Das Tier bedarf daher auch einer Mundhöhle, um die rohe Nahrung in das Innere einzuführen, und eines Afters, um das Unbrauchbare auszuscheiden. Die Pflanze bedarf solcher Einrichtungen nicht. In Fällen aber, wo ein Tier rings von Nährstoffen umgeben ist, wie die Wurzeln der Pflanze es sind, z. B. bei Eingeweidewürmern, da dient die äußere Oberfläche des Körpers als Nährstoffe aufsaugendes Organ. In den übereinstimmenden und den abweichenden Zügen, die ein Vergleich der Organisation der höheren Tiere und Pflanzen hervortreten läßt, begegnet uns das so bedeutsame, alle Organisationsverhältnisse beherrschende Prinzip der Anpassung, d. h. des Zusammenhanges zwischen Gestalt und Verrichtung, zwischen Bau und Aufgabe der einzelnen Tiere und der einzelnen Pflanzen. In der Anpassung geben sich Einrichtungen des Körpers der Organismen in Bezug auf die Außenwelt zu erkennen, die ihre Lebensbedingungen enthält.

Kapitel 4.

Die Abhängigkeit des Lebens von der Sonne.

Im lebendigen Organismus der grünen Gewächse arbeitet es rastlos wie in einer chemischen Fabrik. Die rohen mineralischen Nährstoffe, die Kohlensäure, Salpetersäure, Schwefelsäure, Phosphorsäure, der Kalk, die Magnesia, das Kali und Eisen, werden nach ihrem Eintritt in die Zellen umgewandelt in die organischen Verbindungen, die als eigentliches Baumaterial des Protoplasma und der übrigen Zellbestandteile zu gelten haben. Diese Umwandlung nennen wir die Assimilation der Nährstoffe, weil die Pflanze durch ihren Einfluß jene Mineralverbindungen den eigenen organischen Verbindungen gleichmacht und angliedert.

Es handelt sich in den Assimilations-Erscheinungen um die wichtigsten chemischen Prozesse, die an der Erdoberfläche vorkommen; durch sie werden die chemischen Grundlagen des Lebens geschaffen, das ohne sie keinen Bestand haben würde. Die assimilierende Tätigkeit der Pflanzen ist der einzige Weg, auf dem ohne Eingreifen des Menschen sich in der Natur eine Erzeugung organischer aus anorganischer Substanz vollzieht. Nicht nur in den Pflanzen wird das Leben durch die Assimilation unterhalten, sondern auch der Bestand der Tierwelt ist davon abhängig. Die Tiere können keine Mineralstoffe assimilieren, sondern müssen sich von den in den Pflanzen gebildeten organischen Verbindungen ernähren. Das gilt auch von fleischfressenden Tieren, weil sie von Pflanzenfressern leben.

Was versteht die Chemie unter organischen Verbindungen? Vor hundert Jahren glaubte man, daß diese Verbindungen, in denen der Kohlenstoff einen wichtigen Bestandteil ausmacht, nur in den Pflanzen und in den Tieren gebildet werden könnten. Heute denkt

man anders darüber. Es ist der Chemie gelungen, eine große Anzahl solcher organischer Verbindungen durch künstliche Synthese ohne jede Mitwirkung lebender Organismen herzustellen, und die meisten dieser künstlichen organischen Verbindungen kommen in Pflanzen und Tieren überhaupt gar nicht vor. Wir müssen daher in der Gegenwart die Begriffe der organischen Chemie und der organischen Verbindungen anders definieren, als es früher geschah. Man versteht gegenwärtig unter organischer Chemie ganz allgemein die Chemie der Kohlenstoffverbindungen, unter organischen Verbindungen die Verbindungen des Kohlenstoffes mit Ausnahme der Kohlensäure, bezw. des Kohlendioxyd, das nach wie vor zu den anorganischen oder mineralischen Verbindungen gerechnet wird. Für sämtliche organische Kohlenstoffverbindungen ist charakteristisch, daß sie verbrennlich sind, d. h. durch Hinzutritt von Sauerstoff zu Kohlensäure verbrannt werden können. Die Kohlensäure ist die einzige nicht weiter oxydierbare, mithin unverbrennliche Verbindung des Kohlenstoffs. Es handelt sich daher bei der Assimilation der Kohlensäure durch grüne Pflanzen um die Bildung verbrennlicher Kohlenstoffverbindungen aus der einen unverbrennlichen, die es in der Natur gibt.[1])

Aus der großen Zahl organischer Kohlenstoffverbindungen, die in den Pflanzen und Tieren vorkommen, sollen nur zwei Gruppen in Betracht gezogen werden, weil sie unter allen die wichtigsten sind: die Kohlenhydrate, deren einfachste Form der Traubenzucker ist, und die Eiweißstoffe. Kohlenhydrate können außerhalb der Pflanzenzellen durch künstliche Synthese hergestellt werden; mit den Eiweißkörpern ist ein Gleiches noch nicht gelungen. Es zweifelt aber niemand daran, daß auch die Eiweißsynthese den Chemikern in einer nicht fernen Zukunft gelingen wird.

---

[1]) Die in der Rinde unseres Planeten vorkommenden Erdöle sind zwar auch organische Kohlenstoffverbindungen, allein man geht wohl nicht fehl in der Annahme, daß ihr Ursprung auf pflanzliche und tierische Reste früherer Erdperioden zurückzuführen ist. Für die Ernährung der Organismen kommen die Erdöle nicht in Betracht.

Es wird zweckmäßig sein, unsere Aufmerksamkeit zunächst auf die Bildung von Zucker aus Kohlendioxyd und Wasser durch die Tätigkeit der Pflanzen zu konzentrieren. Wenn die Synthese des Zuckers daneben auch menschlicher Geschicklichkeit gelungen ist, so wird dadurch nur festgestellt, daß sie wie alle organischen Synthesen an der Erdoberfläche nur möglich ist entweder durch die Arbeit der Pflanzen, oder durch Eingreifen des menschlichen Geistes. Eine dritte Möglichkeit gibt es nicht. In der organischen Natur kann nun und nimmer Kohlendioxyd und Wasser von selbst in Zucker übergehen, d. h. durch Kräfte, die in der anorganischen Natur gegeben sind. Wenn wir vom bewußten Eingreifen des Menschen absehen, so birgt die Pflanze allein den Zauberstab, durch den sich Kohlensäure in Zucker verwandeln läßt; im strengeren Sprachgebrauch der Chemie versteht man unter Kohlensäure eine Verbindung von Kohlendioxyd mit Wasser. Dies chemische Vermögen der Assimilation, in unserm Spezialfalle der Umwandlung von Kohlensäure in Zucker, erhält sich im Pflanzenreiche durch Vererbung wie alle übrigen Eigenschaften der Gewächse und pflanzt sich fort von Generation auf Generation. Jede Zuckerbildung durch Assimilation hat somit das Dasein lebender Pflanzenzellen zur Voraussetzung. Erst muß die Zelle vorhanden sein, bevor in der Natur Kohlensäure in Zucker verwandelt werden kann.

Es kommt weiter in Betracht, daß der Weg, den die Zuckersynthese des Chemikers einschlägt, völlig verschieden ist vom Vorgange der Synthese in den Pflanzen. Mit dem letzteren verglichen, ist die Methode des Chemikers ein gewaltiger Umweg, der nur durch die scharfsinnigsten Kombinationen chemischer Umsetzungen gefunden werden konnte. Der Chemiker muß bei seiner Synthese so scharfe Reagentien und so hohe Temperaturen anwenden, wie sie in der Zelle gar nicht vorkommen können, ohne deren Leben sofort zu vernichten. Darum darf die Synthese in den Pflanzen der Synthese im Laboratorium des Chemikers keineswegs gleichgesetzt werden; die Wege beider sind durch eine tiefe Kluft voneinander getrennt.

In den Pflanzenzellen ist die Assimilation — ich verstehe darunter zunächst immer die Umwandlung von Kohlensäure in

Zucker — in einem besonderen Zellorgan lokalisiert, in den vom grünen Chlorophyllfarbstoff durchtränkten Farbträgern; diese sind kleine Laboratorien der Zelle, außerhalb deren im farblosen Protoplasma keine Assimilation geschieht. Die Gegenwart von Chlorophyll ist für den Vorgang unerläßliche Bedingung. Das Kohlendioxyd der Luft dringt durch die Spaltöffnungen in die Luftkanäle der Blätter ein und gelangt von ihnen in die Zellen, wo es sich mit Wasser mischt und dabei Kohlensäure bildet, die dann in die grünen Farbträger eindringt, um hier zu Zucker zu werden. Obwohl wir die chemischen Einzelheiten des Vorgangs noch lange nicht vollständig übersehen, so sind doch folgende Tatsachen hervorzuheben.

Die Kohlensäure besteht aus einem Atom Kohlenstoff, zwei Atomen Wasserstoff, drei Atomen Sauerstoff; der Zucker, der aus ihr entsteht, enthält sechs Atome Kohlenstoff, zwölf Atome Wasserstoff, sechs Atome Sauerstoff. Es sind daher sechs Teile oder Moleküle Kohlensäure erforderlich, um ein Molekül Zucker zu bilden, weil im Zuckermolekül sechsmal soviel Atome Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten sind als im Kohlensäuremolekül, daneben aber nur doppelt soviel Atome Sauerstoff. Die Synthese des Zuckers kann sich daher nicht durch eine bloße Zusammenschweißung von sechs Molekülen Kohlensäure vollziehen, sondern es muß zugleich eine Abspaltung von zwölf Atomen Sauerstoff erfolgen. Diese durch die Theorie geforderte Abspaltung von zwei Atomen Sauerstoff aus jedem zur Zuckersynthese verwendeten Kohlensäuremolekül wird tatsächlich beobachtet, denn während der Assimilation scheiden grüne Blätter der Pflanzen Sauerstoff aus, und zwar für jedes Volum aufgenommenen Kohlendioxyds ein gleiches Volum von Sauerstoff, was wiederum mit der Theorie in Einklang steht. Als äußerst wichtiger Umstand kommt dann hinzu, daß diese Ausscheidung von Sauerstoff, das untrügliche Symptom assimilierender Tätigkeit der Zellen, nur am Lichte geschieht; im Dunkeln hört die Sauerstoffausscheidung sofort auf, steht der Assimilationsprozeß still.

Es gehört zu den schönsten Erfolgen der Pflanzenphysiologie, den Nachweis führen zu können, daß diese Mitwirkung des Lichtes bei der Assimilation notwendig ist, und warum sie es ist. Ohne

weiteres leuchtet ein, daß von jedem Kohlensäuremolekül zwei Atome Sauerstoff abgespalten werden müssen, damit die übrigbleibenden Kohlensäurereste sich zu Zucker vereinigen können. Im Kohlensäuremolekül waren aber die beiden Sauerstoffatome mit dem Kohlenstoffatom sehr fest verbunden, und es bedurfte einer gewaltigen Kraft oder, genauer gesagt, eines bedeutenden Aufwandes an mechanischer Arbeit, um jene Sauerstoffatome vom Kohlenstoffatom loszureißen. Eine Kraft, die fähig ist, mechanische Arbeit zu leisten, nennen wir Energie. Für die Losreißung der Sauerstoffatome vom Kohlenstoffatom kann man sich im Laboratorium chemischer Energie bedienen, indem man die Kohlensäure mit einem Körper zusammenbringt, der eine größere Anziehungskraft auf den Sauerstoff ausübt als der Kohlenstoff. Wenn man z. B. ein Glasröhrchen mit Kohlendioxyd füllt und ein Stück metallisches Natrium hinein tut, so verbindet sich das Natrium mit dem vom Kohlenstoff losgerissenen Sauerstoff unter Flammenreaktion zu Natriumoxyd, während reiner Kohlenstoff sich als schwarzer Ruß an der Wand des Glasröhrchens niederschlägt. Eine solche Substanz, die durch chemische Energie den Sauerstoff vom Kohlenstoff abspaltet, gibt es aber nicht in der Pflanze; denn vollzöge sich die Reaktion auf chemischem Wege, so müßte der Sauerstoff von der die Zersetzung ausübenden Substanz noch fester gebunden werden als vorher vom Kohlenstoff; er könnte also nicht frei in die Luft entweichen. Ein Sauerstoff abspaltender Stoff kann aber auch darum nicht wirksam sein, weil dann die Pflanzenzelle jenen Stoff fort und fort in sich selbst erzeugen müßte und somit ein Perpetuum mobile wäre, was im Widerspruch zu den Energiegesetzen stehen würde, mithin unmöglich ist.

Schon die theoretische Betrachtung gelangt daher zu dem Ergebnis, daß die bei der Assimilation den Sauerstoff vom Kohlensäuremolekül losreißende Energie keine chemische Energie sein kann, sondern eine physikalische sein muß. Die Beobachtung zeigt, daß das Sonnenlicht die geforderte Energie ist. Denn wenn auch im diffusen Licht eines Zimmers noch Assimilation erfolgt, so entstammt dies Licht doch immer der Sonne. Allerdings gelingt es, das Sonnenlicht auch durch irdische Lichtquellen, wie

elektrisches oder Gaslicht, wirksam zu ersetzen. In jedem Falle wird die mechanische Arbeit der Kohlensäure-Zersetzung durch Lichtenergie geleistet.

Würde die Abspaltung des Sauerstoffs durch chemische Energie vollzogen, so müßte der losgerissene Sauerstoff als Sauerstoffverbindung in der Zelle zurückbleiben. Weil er durch die Strahlungsenergie der Sonne abgespalten wird, kann er als unverbundenes Gas in die Luft entweichen. Man denkt sich hierbei die Wirkung des Lichtes analog der Lichtwirkung beim Photographieren. Hier wird das farblose Chlorsilber der lichtempfindlichen Platten durch das Licht in Silber, das in fein verteiltem Zustande schwarz aussieht, und in Chlorgas zerlegt, das in die Luft entweicht. Die Rolle des Chlorophylls bei der Assimilation entspricht vielleicht den sogenannten sensibilisierenden Farbstoffen, die man zur besseren Ausnutzung des Lichtes auf photographischen Platten dem farblosen Silbersalze beimengt, und durch deren Anwendung es möglich wurde, gelbe und rote Farben ebenso gut zu photographieren wie Blau und Violett.

Trotz dieses Nachweises physikalischer und chemischer Faktoren in der Assimilation der Kohlensäure ist darum der Vorgang noch nicht restlos erklärt. Es wäre ein vergebliches Bemühen des Chemikers, wollte er die Umwandlung von Kohlensäure in Zucker im Laboratorium auf dieselbe Weise ausführen, wie sie sich in den Pflanzen gleichsam von selbst vollzieht. Dies „von selbst" ist nur ein Eingeständnis unserer Unwissenheit; es wird damit angedeutet, daß in den grünen Farbträgern der Pflanzenzellen eine erblich überkommene Struktur der diese Farbträger zusammensetzenden Stoffe besteht, die unerläßliche Bedingung ist für das Zustandekommen der Assimilation. Wie man die von der Konfiguration der Teile abhängige Leistungsfähigkeit einer Maschine die Maschinenbedingungen nennt, so nenne ich jene erbliche Struktur der Zellen, von der ihre chemischen und sonstigen Leistungen abhängen, die Systembedingungen der lebenden Zelle. Die für den Assimilationsprozeß maßgebenden, mikroskopisch nicht erkennbaren Systembedingungen der grünen Farbträger werden durch den Tod zerstört. Tötet man ein Blatt z. B. durch hohe Temperatur, so scheidet es am Licht keinen Sauerstoff mehr aus, vermag also nicht

mehr zu assimilieren; der lebendige Zustand der Farbträger ist die dafür notwendige Voraussetzung.

Die Trennung des Sauerstoffs vom Molekül der Kohlensäure bildet die Grundlage der Assimilation; für sie ist das Sonnenlicht unerläßlich, während die Zusammenfügung der Reste zu Zucker sich wahrscheinlich auch im Dunkeln unter dem Einfluß des lebenden Protoplasma vollziehen kann. Es vermögen wenigstens Pilze aus einfacheren Kohlenstoffverbindungen, die nur zwei und selbst nur ein Atom Kohlenstoff im Molekül enthalten, im Dunkeln den Zucker mit seinen sechs Kohlenstoff-Atomen aufzubauen.

Theoretisch können wir somit in der Assimilation der Kohlensäure zwei Phasen unterscheiden, die der praktischen Beobachtung aber als einheitlicher Vorgang erscheinen, weil sie zeitlich annähernd zusammenfallen. Die erste Phase ist die Abtrennung der beiden Sauerstoffatome vom Kohlensäuremolekül durch die Arbeit des Sonnenlichts, was man, wie jede Abspaltung von Sauerstoff, einen Reduktionsvorgang nennt. Nach dieser Reduktion ist vom Molekül der Kohlensäure ein Rest übrig geblieben, der aus einem Atom Kohlenstoff, zwei Atomen Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff besteht. Unmittelbar an die Phase der Reduktion schließt sich nun die zweite Phase des Prozesses, die Vereinigung von je sechs Kohlensäure-Resten zu einem Molekül Zucker; letzteres nennt der chemische Sprachgebrauch einen Vorgang der Addition oder Synthese. — Aus dem Zucker können durch weitere Additionsvorgänge die verschiedensten anderen Kohlenhydrate entstehen, unter denen die Stärke und die Cellulose die wichtigsten sind; die Stärke kann unmittelbar aus dem Zucker gebildet werden, so daß assimilierende Farbträger meistens mit Stärkekörnern angefüllt sind.

Die 16 Millionen Tonnen Kohlenstoff, die jährlich durch Pflanzen der Luftschicht des Erdballs entzogen werden, werden innerhalb des Pflanzenkörpers somit für den Aufbau von Zucker verwendet; es entspricht dies einer Produktion von jährlich 40 Millionen Tonnen Zucker. Diese in Form von Zucker durch die Pflanzen hergestellte organische Substanz bildet das Ausgangsmaterial für die Erzeugung aller übrigen im Pflanzen- und Tierkörper vorkommenden organischen Kohlenstoffverbindungen. Während der Zucker im

Sonnenlicht entsteht, scheinen alle übrigen Synthesen ohne Mitwirkung des Lichtes im farblosen Protoplasma der Pflanzenzellen sich abspielen zu können. Leider wissen wir über den speziellen Ablauf dieser Synthesen noch weniger als von der des Zuckers.

Dies gilt besonders von den eiweißartigen Verbindungen, die man in Eiweiß im engeren Sinne und in Phosphorproteide einteilen kann. Das Eiweiß enthält außer Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, die schon im Zucker vorkommen, noch Stickstoff und Schwefel, die durch Assimilation von Salpetersäure oder Ammoniak und von Schwefelsäure gewonnen werden. Die Erfahrung zeigt, daß Pflanzen, denen Zucker, Salpetersäure und Schwefelsäure zur Verfügung stehen, daraus Eiweiß bilden können. Es darf als festgestellt gelten, daß die Assimilation des in der Salpetersäure enthaltenen Stickstoffs und des in der Schwefelsäure enthaltenen Schwefels auf rein chemischem Wege erfolgt ohne Intervention einer besonderen physikalischen Energie. Auf welche Weise die Eiweißbildung vor sich geht, ist zur Zeit noch tiefes Geheimnis, eine Kunstfertigkeit der Pflanzenzellen, die den Tierzellen abgeht; denn die Tiere sind für ihre Ernährung ebenso sehr auf das in den Pflanzen gebildete Eiweiß, wie auf die in Pflanzen gebildeten Kohlenhydrate angewiesen. In den Phosphorproteiden, zu denen ich das Plastin, einen wichtigen Bestandteil des Protoplasma, und das Nuklein rechne, das sich in den Zellkernen findet, tritt entweder zu den Bestandteilen des Eiweiß noch Phosphor hinzu, oder der Schwefel ist in ihnen durch Phosphor ersetzt. Über den Vorgang der Assimilation dieses „organisch" gebundenen Phosphors aus der von den Wurzeln aus dem Erdboden aufgenommenen Phosphorsäure wissen wir so wenig Sicheres, wie über die Assimilation des Stickstoffs und des Schwefels.

Die in den Pflanzen und Tieren vorkommende organische Substanz hat also ihren Ausgangspunkt genommen aus dem in den grünen Farbträgern der Pflanzenzellen bereiteten Zucker. Nicht nur für jeden mechanischen, sondern auch für jeden chemischen Betrieb ist eine gewisse Menge von Energie als Betriebskraft erforderlich, und Sonnenenergie ist die Betriebskraft für Herstellung des Zuckers und somit indirekt auch der übrigen organischen Kohlenstoffverbindungen in den Pflanzen. Wir können dies auch so ausdrücken, daß bei der

Assimilation sich eine gewisse Menge von Sonnenenergie verwandelt in die chemische Energie des Zuckers. Die hierbei verbrauchte Sonnenenergie läßt sich messen, da sie als Wärme bei einer Verbrennung des Zuckers wieder zum Vorschein kommt; man spricht daher von Wärmeinhalt, Verbrennungswert oder Verbrennungswärme einer Verbindung, in diesem Falle des Zuckers. Die Verbrennungswärme von einem Gramm Zucker beträgt rund 3500 Wärme-Einheiten oder Kalorien, die von einer Tonne Zucker $3^1/_2$ Milliarden Kalorien, von 40 Millionen Tonnen, der jährlich an der Erdoberfläche gebildeten Zuckermenge, rund $1^1/_2$ Billionen Kalorien. Dieser Teilbetrag der ganzen in Jahresfrist ausgestrahlten Sonnenenergie wird daher für die Erzeugung von Zucker in den Pflanzen verbraucht und in der Form von dessen Verbrennungswärme aufgespeichert. Die Pflanzen enthalten somit einen Wärmevorrat, der sie geeignet macht, uns auch als Brennmaterial zu dienen, und diese Verbrennungswärme ist letzterhand nichts anderes als eingefangene Sonnenwärme. In den Torfmooren, in Braunkohlen- und Steinkohlenlagern ist gleichfalls vegetabilische Verbrennungswärme aufgespeichert, und wenn eine Dampfmaschine arbeitet, so wird ihr Betrieb unterhalten durch versteinerte Sonnenglut.

Der zwischen Sonne und Pflanzenwelt sich abspielende kosmologische Prozeß besitzt noch in anderen Richtungen Bedeutung. Das Leben der Pflanzen und das Leben der von ihnen abhängigen Tierwelt darf in mechanischer oder, besser gesagt, in energetischer Hinsicht verglichen werden einem in Gang befindlichen Uhrwerk. Wie das Uhrwerk sich nicht als Perpetuum mobile von selbst in Bewegung halten kann, sondern für seine Bewegung von außen her Energie zugeführt erhalten muß, was durch das Aufziehen geschieht, so sind auch die Organismen weder als Ganzes noch jeder für sich ein Perpetuum mobile; d. h. ihr Leben kann auf die Dauer nicht unterhalten werden durch Energie, die in ihnen selbst liegt, sondern es bedarf auch für sie einer Zufuhr von Energie von außen. Für die kurze Spanne menschlichen Erlebens kann die Sonne als ein unerschöpfliches Magazin von Energie angesehen werden, aus dem unausgesetzt ein Energiestrom zu den Pflanzen des Erdballs hinüberflutet, um in ihnen die Lebensvorgänge zu unterhalten. Auf welche

Weise der Umsatz von Sonnenenergie in die Bewegungsenergie des Lebensprozesses bei Pflanzen und Tieren erfolgt, wird Gegenstand einer späteren Erörterung sein.

Doch die Arbeit der Sonnenstrahlen in grünen Pflanzen dient auch dazu, die Erdatmosphäre fortwährend mit Sauerstoff zu bereichern. Der Chemiker Arrhenius hat sogar die Vermutung ausgesprochen, daß aller Luftsauerstoff im Laufe der Erdgeschichte aus grünen Pflanzen entbunden worden sei, was ich für unwahrscheinlich halte. Die Tatsachen liegen so, daß in 100 Gewichtsteilen Luft 23 Teile Sauerstoff enthalten sind, und daß dieser Wert erfahrungsgemäß keinen nennenswerten Schwankungen unterliegt, obgleich unausgesetzt ein starker Verbrauch von Sauerstoff durch die Atmung der Organismen und durch die Verbrennung von Holz und Kohle im Haushalt der Menschheit stattfindet. Dieser Sauerstoffverbrauch muß aber durch die Sauerstoffausscheidung der Pflanzen gedeckt werden.

So sehen wir also in der Sonne die Energiequelle, aus der die Unterhaltung des Lebens auf unserm Planeten bestritten wird. Die Sonnenenergie wäre hierfür aber machtlos, wenn sie in den grünen Pflanzenzellen nicht auf eigenartige Systembedingungen träfe, die als Umbildner oder Transformatoren strahlender Energie in chemische Energie dienen. Nur in Verbindung mit diesen Systembedingungen vermögen die Sonnenstrahlen wirksam und nutzbringend für die Unterhaltung des Lebens zu werden. Das Dasein solcher Systembedingungen als Ganzes können wir feststellen; im einzelnen ist ihre Analyse der Wissenschaft noch nicht gelungen. Wir müssen sie als eine gegebene Einrichtung hinnehmen, die sich von Generation auf Generation durch die Pflanzenwelt vererbt, und deren Ursprung uns unbekannt ist, wie die Herkunft der Organismen überhaupt.

Doch nicht nur durch Zersetzung der Kohlensäure wird die Sonne zur Spenderin des Lebens, sondern die erwärmende Kraft ihrer Strahlen schafft auch erst die allgemeinen Bedingungen für das Gedeihen einer Pflanzen- und Tierwelt an der Oberfläche der Erde. Alles Leben ist nur möglich bei Temperaturen, die über dem Gefrierpunkt des Wassers liegen. Würde eine Erkaltung der Sonne eintreten, die eine dauernde Vereisung der ganzen Erdoberfläche zur

Folge hätte, so würde alles Leben dadurch zum Erlöschen kommen. Andrerseits können die meisten Pflanzen nur eine Temperatur bis zu 40 Grad Celsius ertragen, ohne zugrunde zu gehen. Nur in heißen Quellen hat man einige niedrigste Pflanzen noch bei 60 Grad lebend gefunden. Es darf daher die Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen nicht erheblich größer sein, als sie tatsächlich ist, wenn dadurch nicht gleichfalls das Leben auf unserm Planeten unmöglich gemacht werden soll.

Endlich wirkt die Sonne als Ursache der Wasserzirkulation auf der Erde. Das durch die Wärme ihrer Strahlen aus den Meeren zu Dampf verflüssigte Wasser strömt von den Wolken als Regen herab, es bildet die ständigen Rinnen der Quellen, Bäche und Flüsse, die sich in Teichen und Seen aufstauen können, es liefert das Grundwasser des Bodens. Ohne diese, durch die Sonne verursachte Ausbreitung des Wassers über das feste Land wäre weder tierisches noch pflanzliches Leben darauf möglich.

Kapitel 5.

Die Erhaltung des Lebens durch Betriebsenergie.

Die Tiere ernähren sich von den mit Hilfe des Sonnenlichts durch die Pflanzen erzeugten organischen Kohlenstoffverbindungen, den Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißstoffen. Wenn wir einen Hund, ein Kaninchen oder eine Taube einsperren und ihnen die Nahrung vorenthalten, so können sie noch Tage und Wochen leben, bevor sie verhungern, vorausgesetzt, daß es ihnen nicht an Wasser fehlt. Schnürt man einem Tier aber die Kehle zu, so stirbt es nach wenigen Minuten, weil es nicht atmen kann. Die Atmung ist hiernach für die unmittelbare Erhaltung des Lebens wichtiger und wesentlicher als die Zufuhr von Nahrung. Worin besteht der Vorgang und die Bedeutung der Atmung? Das Tier entnimmt seiner Umgebung Sauerstoff, verbrennt mittels dieses Sauerstoffs gewisse chemische Verbindungen im Protoplasma seiner Zellen zu Kohlensäure und atmet die Kohlensäure wieder aus. Die Atmung gestaltet sich verschieden, je nachdem die Tiere dem Leben an der Luft oder im Wasser angepaßt sind. Säugetiere, Vögel, Reptilien und ein Teil der Amphibien atmen die sauerstoffreiche Luft ein, indem ihre Lungen sich ausdehnen und deren zahlreiche kleine Kammern sich mit Luft anfüllen. In den Wänden dieser Kammern verlaufen Netze kapillarer Blutgefäße, durch deren zarte Wände der Sauerstoff eindringt und sich den roten Blutkörperchen anlagert, die dabei eine hellere Rotfärbung annehmen. Durch den Kreislauf des Blutes gelangen diese mit Sauerstoff gesättigten Blutkörperchen zu den Zellen der Gewebe, wo sie den Sauerstoff an deren farbloses Protoplasma abgeben. Hier findet die Verbrennung statt, deren Endprodukt, die Kohlensäure, sich dem abfließenden Blutstrom bei-

mischt, der dabei dunklere Färbung annimmt und durch die Venen wieder den Lungen zugeführt wird, wo die Kohlensäure in das die Lunge erfüllende Luftgemenge entweicht und durch Zusammendrückung der Lunge ausgeatmet wird. Bei den ein Luftleben führenden Insekten ist ein System feiner Luftkanäle vorhanden, die Tracheen, die sich durch den ganzen Körper verbreiten und mit Löchern an der Oberfläche des Körpers münden. In diese Löcher, die Stigmata, dringt Sauerstoff bis zu den inneren Körperzellen ein; hier findet die Atmungsverbrennung statt, und die gebildete Kohlensäure verläßt ihrerseits den Körper durch die gleichen Stigmata. Bei den Fischen endlich, ebenso bei den Larven der Amphibien und unter den Gliederfüßern bei den Krebsen, besteht das Atmungsorgan in Kiemen. Dies sind bei den Fischen dünne Platten, die sich insofern den Wänden der Lungenkammern gleich verhalten, als sie von Kapillargefäßen durchströmt werden, in die der im Wasser gelöste Sauerstoff eindringt, um durch das Blut den Zellgeweben zugeführt zu werden, wo er die Verbrennung bewirkt; die entstehende Kohlensäure gelangt durch den rückfließenden Blutstrom ebenfalls in die Kiemen und von dort in das Wasser. Junge Frösche atmen während ihres Lebens im Wasser durch Kiemen; nach dem Übergang zum Leben an der Luft verlieren sie die Kiemen, und Lungenatmung setzt ein. Niedere Tiere nehmen mit ihrer ganzen Körperoberfläche Sauerstoff auf und scheiden Kohlensäure aus. In geringem Umfange kommt auch bei Wirbeltieren Hautatmung neben der Lungenatmung vor.

Die Atmung der Pflanzen stimmt genau mit derjenigen der Tiere überein. Auch eine Pflanze muß atmen, um leben zu können. Es dringt fortwährend Sauerstoff in das farblose Protoplasma der Zellen ein und verbrennt hier Kohlenhydrate und andere organische Verbindungen zu Kohlensäure, die ausgeschieden wird. Am deutlichsten tritt die Atmung hervor an Pflanzenteilen, die des grünen Chlorophyllfarbstoffs entbehren, z. B. bei Wurzeln, Blumenblättern, sowie in der ganzen Klasse der Pilze. Bei grünen Pflanzenteilen wird am Licht die Atmung verdeckt durch die gleichzeitig stattfindende Assimilation, weil diese etwa zwanzigmal so lebhaft ist als jene. Die Assimilation ist ein der Atmung entgegengesetzter

Gaswechsel: bei der Assimilation wird Kohlensäure aufgenommen und Sauerstoff ausgeschieden; bei der Atmung wird Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgeschieden. Am Licht gehen beide Prozesse in den Zellen nebeneinander her; die Assimilation spielt sich in den grünen Farbträgern ab, die Atmung im farblosen Protoplasma der nämlichen Zellen. Wird die Pflanze verdunkelt, z. B. durch Eintritt der Nacht, so steht die Assimilation still, während die Atmung fortdauert. Auch bei der Atmung dringt der Sauerstoff durch die Spaltöffnungen der Oberhaut in die Zwischenzellräume des Blattgewebes ein und gelangt von da in die innersten Zellen des Pflanzenkörpers, während die gebildete Kohlensäure auf dem gleichen Wege die Pflanze verläßt, also durch die Spaltöffnungen entweicht. Die Zwischenzellräume verhalten sich somit ganz wie die Tracheen der Insekten, die Spaltöffnungen wie deren Ausgangspforten, die Stigmata. Es ist eine völlig veraltete Anschauungsweise, wenn man meint, die Pflanzen atmeten bei Tage anders als bei Nacht; die nächtliche Atmung stimme mit der der Tiere überein, die Tagesatmung sei ihr entgegengesetzt. Dieser Irrtum verwechselt die in ihren Ergebnissen einander schnurstracks entgegengesetzten Begriffe der Assimilation und der Atmung, die allerdings äußerlich darin übereinstimmen, daß es sich bei beiden Vorgängen um einen Gaswechsel zwischen Sauerstoff und Kohlensäure handelt.

Wir können den Traubenzucker als Repräsentanten derjenigen Stoffe ansehen, die vorzugsweise in den Pflanzenzellen bei deren Atmung verbrannt werden. Diese Verbrennung ist darum merkwürdig, weil sie im Protoplasma bei niederer Temperatur erfolgt. Sowohl bei Pflanzen- wie bei Tierzellen nimmt man an, daß die Vereinigung des Sauerstoffs mit dem Zucker usw., wodurch dieser zu Kohlensäure verbrannt wird, durch eigentümliche Verbrennungsenzyme vermittelt wird, die man Oxydasen genannt hat. Auch gibt es in den Pflanzenzellen Stoffe, die sich sehr leicht mit dem Sauerstoff der Luft vereinigen. Wenn man z. B. einen durchschnittenen Apfel an der Luft liegen läßt, so bräunen sich nach einiger Zeit die Schnittflächen, was darauf beruht, daß eine farblose, in den Zellen enthaltene Verbindung durch den Sauerstoff der Luft zu einer

braunen Verbindung oxydiert, aber nicht bis zu Kohlensäure verbrannt wird, was nur in unverletzten Zellen geschieht.

Alle Verbrennungen durch Sauerstoff, mögen sie stürmisch mit Flamme erfolgen, oder sich langsam und unscheinbar in lebenden Zellen vollziehen, sind mit Wärmeentbindung verknüpft. Die dabei entstehende Wärmemenge ist die gleiche, ob ein Gramm Zucker über einer Gasflamme in kürzerer, oder durch die Atmung eines Tieres, einer Pflanze während längerer Zeit zu Kohlensäure verbrannt wird. Der Wärmeinhalt (die Verbrennungswärme) von einem Gramm Zucker beträgt 3500 Wärmeeinheiten, der Wärmeinhalt der daraus entstehenden Kohlensäure ist gleich null. Somit werden bei der Veratmung von einem Gramm Zucker durch Pflanzen oder Tiere 3500 Wärmeeinheiten in Freiheit gesetzt. Freigemachte Wärme erhöht die Temperatur eines Körpers, und es ist auf freiwerdende Atmungswärme zurückzuführen, wenn die Körpertemperatur der Säugetiere und Vögel sich bedeutend über die Temperatur ihrer Umgebung erhebt, wobei noch durch besondere Regulationen diese Körpertemperatur auf annähernd gleicher Höhe erhalten wird. Die kaltblütigen Tiere, z. B. die Fische und Insekten, sind kaum wärmer als ihre Umgebung. Sie haben kein Mittel, die Atmungswärme zurückzuhalten, sondern geben sie durch Leitung ab an das Wasser und an die Luft, darin sie leben. Die Pflanzen verhalten sich im allgemeinen wie diese kaltblütigen Tiere. Die großen Oberflächen des Pflanzenkörpers bringen schon einen fortwährenden Ausgleich der Zellentemperatur mit der Lufttemperatur zuwege, ja, die Wasserverdunstung aus den Blättern verursacht meistens eine Abkühlung ihrer Gewebe unter die Temperatur der Luft. Wenn man indes diese abkühlenden Ursachen ausschließt, wenn man z. B. Grasblätter oder Blütenknospen zusammenhäuft, mit einem schlechten Wärmeleiter umgibt und ein Thermometer hineinsteckt, so läßt sich daran eine Selbsterwärmung der Pflanzenteile erkennen. Besonders lebhaft ist solche Selbsterwärmung der Pflanzenteile bei keimenden Samenkörnern, z. B. bei Malz, dann auch in einigen sich entfaltenden Blumen. Tropische Aroideen und die in Warmhäusern gezogene Wasserpflanze Victoria regia können beim Aufblühen eine Selbsterwärmung von 40 Grad Celsius zeigen, verhalten sich also

darin vorübergehend wie warmblütige Tiere. Daß diese Selbsterwärmung auf Atmung beruht, ist leicht nachzuweisen.

Wenn bei der Atmung der Pflanzen Zucker verbrannt wird, und das Verbrennungsprodukt, die Kohlensäure, entweicht, so erleidet die Pflanze dadurch einen Substanzverlust, einen Verlust an Kohlenstoff. Bei Zuckerrüben, die nach der Ernte monatelang lagern, wobei sie atmen, muß ernstlich mit solchem Verlust gerechnet werden. Wenn man Samenkörner von Bohnen, Lupinen, Mais usw. zur Keimung bringt und die daraus hervorgehenden Pflanzen sich im Dunkeln entwickeln läßt, was auf Kosten der in den Samen gespeicherten Reservestoffe möglich ist, so können solche Pflanzen wochen- und monatelang vegetieren. Weil sie während dieser Zeit aber nur atmen und nicht assimilieren, so verringert sich das Gewicht ihrer Trockensubstanz nach und nach etwa bis auf die Hälfte des Durchschnittsgewichts der Samenkörner, ein Gewichtsverlust, der auf Rechnung der Atmung zu setzen ist. Es wäre indes eine irrige Auffassung, wenn man deswegen die Atmung als einen die Pflanze schädigenden Vorgang ansehen wollte; sie ist im Gegenteil eine unerläßliche Bedingung des Lebens. Das hängt folgendermaßen zusammen.

Wenn wir die Lebewesen der mechanistischen und der energetischen Betrachtung unterwerfen, so erscheint uns der Lebensprozeß als ein verwickeltes System von Bewegungen. Jede materielle Bewegung verkörpert aber geleistete mechanische Arbeit und verbraucht somit Energie. Das gilt von den Lebensbewegungen in den Tier- und Pflanzenzellen so gut wie von der Bewegung einer Taschenuhr und einer Dampfmaschine. Der letzteren wird die Energie oder Betriebskraft zugeführt in der Form von Steinkohle. Die Steinkohle an sich bildet allerdings nur einen toten Arbeitsvorrat. Erst dadurch, daß man sie entzündet, wird dieser Arbeitsvorrat (potentielle Energie) in arbeitsfähige Energie oder Betriebsenergie verwandelt, und zwar zunächst in Wärme. Von dieser Wärme wird ein Teil für die Drehung der Räder der Maschine ausgenutzt, während ein anderer unverwertet bleibt.

So geschieht es auch in der Pflanze und im Tier. Von der durch die Atmung freigemachten Verbrennungswärme des Zuckers wird

ein Teil im Protoplasma der Zellen als Betriebsenergie verwendet für die Unterhaltung der Lebensbewegungen, während der andere Teil nur die Körpertemperatur erhöht, bezw. nach außen abgegeben wird. Wird die Atmung unterdrückt, so stehen die Lebensbewegungen still. Man kann die Strömung im Protoplasma einer Pflanzenzelle dadurch zum Stillstande bringen, daß man durch einen Wasserstoffstrom allen Sauerstoff aus der Umgebung des Präparats verdrängt; läßt man dann wieder gewöhnliche Luft zutreten, so sieht man bald im Protoplasma die Körnchen von neuem strömen. Längere Entziehung von Sauerstoff führt den Tod eines Organismus herbei. Wenn in der Pflanze der durch Assimilation gewonnene Vorrat von Zucker sich durch Atmung wieder vermindert, so ist das für die Pflanze so wenig ein Nachteil, wie die Verbrennung von Steinkohle in der Lokomotive für deren Fortbewegung ein Nachteil ist. Ich scheide hiernach die durch Assimilation in den Pflanzen gebildeten organischen Verbindungen in zwei Gruppen, in Baustoffe und Arbeitsstoffe. Während die Baustoffe Verwendung finden für die Bildung neuer Zellen und neuer Körperteile, werden die Arbeitsstoffe in der Atmung verbrannt und dienen somit im Haushalt der Lebewesen als Betriebsenergie. In den Pflanzen kann Zucker sowohl als Baustoff wie als Arbeitsstoff Verwendung finden.

Wir erblicken in den Lebensvorgängen der Organismen nicht nur einen Kreislauf des Stoffes (Stoffwechsel), sondern auch ein großartiges Schauspiel von Energiewechsel. Die strahlende Energie des Sonnenlichts wird von den Pflanzen verwandelt und aufgespeichert in der chemischen Energie des Zuckers sowie der übrigen organischen Verbindungen des Pflanzenkörpers, die von den Pflanzen an die Tierwelt weiter gegeben werden. Diese verbrennlichen Kohlenstoffverbindungen werden in Pflanzen und Tieren durch den Atmungsprozeß umgesetzt in Bewegungsenergie, welche das Leben unterhält und schließlich als Wärme in die Umgebung der Lebewesen entweicht. Mittelbar werden somit die Lebensbewegungen in den Tieren und Pflanzen durch die Sonnenstrahlen unterhalten. Durch die unserem Planeten zustrahlende Sonnenenergie wird das gewaltige und vielfache Leben an der Oberfläche unseres Planeten wie ein Uhrwerk aufgezogen, um dann nach Art eines solchen Mechanismus

abzulaufen. Als unmittelbar wirksame Betriebsenergie kommt die chemische Energie der Arbeitsstoffe zur Geltung, die bei deren Zerstörung durch die Atmung in Freiheit gesetzt wird.

Unter den niederen Pflanzen gibt es auch solche, die bei Abwesenheit von Sauerstoff leben können: Pasteur hat sie Anaërobe genannt. Manche Spaltpilze (Bakterien) leben stets ohne Sauerstoffatmung; die zu den Sproßpilzen gehörige Hefe kann mit oder ohne Sauerstoff existieren. Im ersteren Falle atmen die Hefezellen wie die Mehrzahl der Pflanzen und Tiere; im zweiten Fall vermögen sie die im Zucker gespeicherte potentielle Energie ihrem Lebenshaushalt auf andere Weise dienstbar zu machen, und dies geschieht durch die alkoholische Gärung, die als Quelle von Betriebsenergie stellvertretend für die Atmung einzusetzen vermag, aber auch neben der Atmung stattfinden kann. Die alkoholische Gärung besteht darin, daß Hefezellen in einer zuckerhaltigen Flüssigkeit, wie Traubenmost oder Bierwürze, mit Hilfe eines Enzyms, der Zymase, den Zucker in Alkohol und Kohlensäure spalten. Hierbei wird auch ein Teil des Wärmeinhalts des Zuckers freigemacht und diese sogenannte Gärungswärme kann im Protoplasma der Zellen ebenso gut als Betriebsenergie dienen und die Lebensbewegungen unterhalten, wie es die Atmungswärme tut. Die Gärungswärme von einem Gramm Zucker ist aber viel geringer als seine Atmungswärme bez. Verbrennungswärme; sie beträgt etwa nur ein Zehntel davon. Um aus dem Zucker durch Gärung den gleichen Nutzeffekt zu ziehen wie durch Atmung, muß daher die Hefe zehnmal soviel Zucker durch Gärung zerstören, als sie in der Atmung zu verbrennen braucht. Weil diese Zersetzung des Zuckers bei der Gärung gewissermaßen als Nebenprodukt Äthyl-Alkohol liefert, wird die Hefe technisch im großen benutzt, um bei der Bier-, Wein- und Branntweinbereitung Alkohol zu gewinnen.

Die Fähigkeit, Zucker zu vergären, ist übrigens nicht auf die Hefe beschränkt, sondern scheint eine allgemeine Fähigkeit des Protoplasma auch der höheren Pflanzen zu sein. Bringt man Keimlinge, Früchte und selbst Blätter von Blütenpflanzen in einen luftleeren oder einen lediglich Wasserstoff enthaltenden Raum, so scheiden sie trotz der Abwesenheit von Sauerstoff Kohlensäure aus,

während sich in den Zellen geringe Mengen von Alkohol nachweisen lassen. Es können danach die Zellen solcher Pflanzen noch durch alkoholische Gärung eine Zeitlang ihr Leben fristen, auch wenn ihnen die Möglichkeit des Atmens abgeschnitten ist; allzu lange darf die Sauerstoffentziehung aber nicht dauern, sonst gehen sie zu Grunde.

Im weiten Bereiche der Bakterien gibt es zahlreiche andere Gärungen, in denen kein Alkohol erzeugt wird, die aber dennoch als Quellen zur Gewinnung von Betriebsenergie angesehen werden dürfen. Wir kennen aber auch viele Bakterien, die nur mittels Sauerstoffatmung leben können und hierbei die verschiedensten Stoffe oxydieren. So verbrennen die Essigbakterien bei ihrer Atmung den Alkohol erst zu Essigsäure, dann diese zu Kohlensäure; um Essig zu gewinnen, muß man daher den Prozeß rechtzeitig unterbrechen, d. h. sobald aller Alkohol in Essigsäure übergeführt ist, weil dann erst die Verbrennung der letzteren beginnt. Es gibt auch Bakterien, welche anorganische Verbindungen, die sie aus ihrer Umgebung aufnehmen, oxydieren, also veratmen, und deren Verbrennungswärme als Betriebsenergie verwenden. Eisenbakterien leben in Gewässern, die farbloses Eisenoxydul gelöst enthalten, und verbrennen dies zu braunem Eisenoxyd. Die Schwefelbakterien leben im Wasser an solchen Stellen, wo durch Fäulnis abgestorbener Organismen Schwefelwasserstoff entweicht; sie verbrennen diesen zu Schwefel und, sobald es ihnen an Schwefelwasserstoff gebricht, den gebildeten Schwefel weiter zu Schwefelsäure, die sich mit dem Kalk ihres Zellinhalts zu Gipskristallen verbindet. Die Nitrobakterien endlich verbrennen Ammoniak zu salpetriger Säure oder diese letztere zu Salpetersäure. Diese überaus kleinen, sowohl im Erdboden wie auch im Meer- und Teichwasser verbreiteten Spaltpilze gehören noch in anderer Hinsicht zu den merkwürdigsten Organismen und nehmen in der ganzen Pflanzenwelt eine Ausnahmestellung ein. Sie vermögen nämlich, obgleich sie farblos sind, Kohlensäure zu assimilieren, und zwar ist dafür auch die Mitwirkung von Licht nicht erforderlich; vermutlich entsteht hierbei in den Zellen der Nitrobakterien aus der Kohlensäure ebenso gut Zucker, wie in den belichteten grünen Farbträgern der Zellen höherer Gewächse. Dafür ist unbedingt erforderlich eine Energiequelle, die außerhalb der

Bakterienzellen gegeben ist und die Stelle des Sonnenlichts vertritt. Solche Energiequelle erblickt man in dem Vorrat von Ammoniak und Sauerstoff außerhalb der Zellen, deren Vereinigung durch die Tätigkeit des Protoplasma dieser Zellen herbeigeführt wird. Die Kohlensäure muß hierbei durch chemische Mittel reduziert werden; wie dies geschieht, ist noch nicht aufgeklärt. Quantitativ tritt aber die Leistung der Nitrobakterien so sehr hinter die der grünen Gewächse zurück, daß sie neben dieser im Gesamthaushalt der Natur kaum ins Gewicht fällt.

Durch die Atmung verlieren Pflanzen und Tiere den als Arbeitsstoff zu buchenden Anteil des in ihren Zellen enthaltenen Kohlenstoffs, weil dieser als Kohlensäure in die Atmosphäre entweicht. Aber auch die Eiweißstoffe der Zellen sind insofern teilweise Arbeitsstoffe, als sie im Lebensprozesse einer fortwährenden Zersetzung anheimfallen. Solche Zersetzungsstoffe von Eiweiß sind im Tierkörper der Harnstoff und die Harnsäure, die im Urin ausgeschieden werden; und wenn ein erwachsener Tierkörper der Zufuhr eiweißhaltiger Nahrung bedarf, so ist diese nur erforderlich, um den täglichen Eiweißabgang zu decken. Die Eiweißzersetzung ist ein chemischer Spaltungsvorgang, der den Gärungserscheinungen analog verläuft und vermutlich für die Zellen eine zweite Energiequelle neben der Atmung bildet. Solche Eisweißzersetzung geht auch in den Pflanzenzellen vor sich; hier wird an Stelle von Harnstoff Asparagin gebildet, das aber nicht den Körper der Pflanzen verläßt, sondern in den Pflanzenzellen von neuem in Eiweiß zurück verwandelt wird. So kommt es, daß die Pflanze in ihrem Stoffwechsel gar keinen Verlust an Stickstoff erleidet, der beim Tiere so ansehnlich ist; in dieser Hinsicht arbeitet der Organismus der Pflanzen somit viel ökonomischer als der des Tieres, und die Pflanzen brauchen nur neuen Stickstoff zu assimilieren, soweit sie ihn als Baustoff für Zwecke des Wachstums nötig haben. Denn das als Arbeitsstoff in den Pflanzenzellen verbrauchte Eiweiß erneuert sich immer wieder aus dem in den Pflanzenzellen zurückgehaltenen Vorrate von Stickstoff.

In den Vorgängen der Atmung, der Gärung und der Eiweißzersetzung handelt es sich also um den Gewinn von Betriebsenergie für die Unterhaltung des Lebensprozesses. Diese Quellen von Be-

triebskraft entspringen einer Zerstörung der durch die Assimilation aufgebauten organischen Verbindungen, insbesondere der Kohlenhydrate und der Eiweißstoffe. Man faßt diese für das Leben so wichtigen Zersetzungsprozesse daher auch zusammen unter den Begriff des Abbaus oder der Dissimilation. Der Stoffwechsel aller Lebewesen setzt sich somit zusammen aus Aufbau und Abbau organischer Substanz. In den Vorgängen des Aufbaus entstehen zusammengesetztere Moleküle von Kohlenstoffverbindungen aus einfacheren; im Abbau werden erstere wieder zerstört, bezw. gespalten in einfachere Verbindungen, mit oder ohne Eingreifen von Sauerstoff. Beim Aufbau oder der Assimilation tritt das Material als Nahrung von außen her in den Organismus ein; die Abbauprodukte verlassen den Tierkörper in ihrer Gesamtheit und müssen daher sämtlich durch Nahrung ersetzt werden. Bei den Pflanzen entweicht nur die Kohlensäure, während die Abbauprodukte des Eiweiß zurückbehalten werden, was einen viel geringeren Bedarf der Pflanzen an stickstoffhaltiger Nahrung bedingt. Nur die Pflanzen sind befähigt, aus anorganischem Material Baustoffe wie Arbeitsstoffe für die Gesamtheit der Lebewesen zu bereiten.

Aus diesen Tatsachen ergeben sich auch zwei Wärmequellen für die Unterhaltung der Lebensvorgänge. Die erste Wärmequelle beruht auf der unmittelbaren Zustrahlung von Wärme aus der Sonne; die zweite Wärmequelle besteht in der Zersetzungswärme (Atmungswärme, Gärungswärme) der Arbeitsstoffe bei den Abbauvorgängen im Organismus. Da aber die Herstellung der Arbeitsstoffe in den Pflanzen gleichfalls auf die Zustrahlung von Sonnenenergie zurückgeführt werden kann, hängen beide Wärmequellen nicht nur auf das engste miteinander zusammen, sondern besitzen letzten Endes den gleichen Ursprung.

Kapitel 6.

Fortpflanzung und Vermehrung.

Alle Lebewesen pflanzen sich fort. Die Fortpflanzung ist nicht nur der einzige bekannte Ursprung von Organismen, sondern auch die unerläßliche Bedingung des Fortbestandes der Arten und Gattungen. Nach kürzerer oder längerer Zeit wird eine Neubildung jedes Tier- und Pflanzenkörpers notwendig, wobei ein auf die Höhe der Entwicklung gelangtes Einzelwesen, bevor es aufhört, als solches zu existieren, sich durch Abgliederung von Keimen fortpflanzt. Die Fortpflanzung ist ein Akt der Verjüngung, durch den das individuelle Leben zur Kette der Generationen sich aneinander schließt; in diesen sorgt sie für Erhaltung des Lebens der Arten, wie die Ernährung das Leben der Einzelwesen fristet.

Die Fortpflanzung, die gewöhnlich mit einer Vermehrung von Einzelwesen verbunden ist oder doch die Tendenz zu einer solchen enthält, ist entweder geschlechtslos oder geschlechtlich. Die geschlechtslose oder neutrale Fortpflanzung ist ein Vorgang der Teilung. Er tritt uns am einfachsten bei den Zellen entgegen, mögen diese vereinzelt leben, oder zu Geweben verbunden sein. Auf der niedrigsten Stufe des Pflanzenreichs, bei den Spaltalgen und den Spaltpilzen oder Bakterien, gibt es keine andere Fortpflanzung als Zellteilung; doch werden bei den höheren Typen dieser Lebewesen, die aus Reihen von Zellen bestehen, einzelne Zellen für die Fortpflanzung besonders umgestaltet und heißen dann Sporen. Sie sind vor den übrigen Zellen durch festere Wände und dichteren Inhalt ausgezeichnet. Aber auch große, aus Tausenden und Millionen von Zellen bestehende Pflanzen, z. B. die Algenfamilie der Laminariaceen, zu der die Riesen der Meeresflora gehören, pflanzen sich

nur fort durch geschlechtslose Schwärmsporen, die aus dem Zellverbande der Mutterpflanze ausgesondert werden. Auch bei niederen Tieren werden Keimzellen als Sporen bezeichnet. Bei Farnen, Moosen und vielen größeren Algen und Pilzen kommt ungeschlechtliche Fortpflanzung durch Sporen neben der geschlechtlichen Fortpflanzung vor.

Die geschlechtliche Fortpflanzung besteht darin, daß die Organismen zweierlei Keimzellen absondern, deren jede für sich allein nicht entwicklungsfähig ist, sondern die sich erst miteinander vereinigen müssen, um einen Keim zu bilden, der durch Wachstum und Zellteilung einen neuen Organismus aufbauen kann. Ob solche für die Vereinigung bestimmte Geschlechtszellen von einem einzigen Einzelwesen hervorgebracht werden, wie bei den meisten höheren Pflanzen, oder von zwei verschiedenen Individuen, wie bei den höheren Tieren, aber auch bei vielen Pflanzen, erscheint zunächst von untergeordneter Bedeutung.

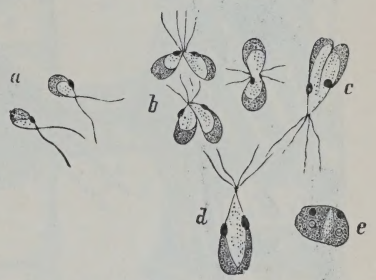

Fig. 21. Kopulation der Schwärmsporen von Monostroma bullosum; a. zwei eben entstandene Gameten; b. c. d. aufeinander folgende Stadien der Kopulation; e. zur Ruhe gekommene Zygote, nach Abwerfung der Geißeln.

Die Vereinigung zweier Geschlechtszellen nennt man Befruchtung oder Zeugung. Der einfachste Fall von Befruchtung ist der, daß die beiden Geschlechtszellen oder Gameten gleich groß sind und sich gleich verhalten (Kopulation). Weniger wesentlich ist es, ob die Gameten beweglich oder unbeweglich sind. Im ersteren Falle sind sie mit Geißelfäden ausgerüstet und dadurch befähigt, im Wasser umher zu schwimmen. Als Beispiel sei die im süßen Wasser vorkommende Alge Monostroma bullosum genannt; sie bildet dünne, sackförmige Häute, die aus einer einfachen Zellschicht bestehen. Der Inhalt der Zellen kann aus der Zellwand ausschlüpfen und dadurch einen Schwärmer bilden, daß aus seinem Protoplasma zwei Geißeln hervorwachsen. (Fig. 21.) Diese Schwärmer sind einzeln unfähig zur Fortentwicklung; treffen aber zwei von ihnen aufeinander, so verschmelzen sie zu einem Schwärmer, der vier Geißeln

besitzt, diese dann abwirft, sich abrundet, eine Zellhaut ausscheidet und durch Zellteilung zu einer neuen Monostromapflanze heranwachsen kann. Die durch Vereinigung zweier Gameten entstandene und nunmehr erst keimfähige neue Zelle wird eine Zygote genannt. Ein anderes Beispiel. Die Süßwasseralge Mesocarpus besteht aus Fäden, die einfache Zellreihen sind. Zwei solcher Fäden legen sich parallel nebeneinander; je zwei sich gegenüberliegende Zellen treiben Ausstülpungen gegeneinander hin, die verschmelzen und dadurch eine Querbrücke zwischen den beiden Fäden bilden. (Fig. 22.) Die beiden sich verbindenden Zellen sind Gameten; ihr Inhalt wandert in die Querverbindung hinein und verschmilzt unter Auftreibung der Wand zu einer eiförmigen Zygote, die sich dann mit einer eigenen derben Zellhaut umgibt. Nahe verwandt mit Mesocarpus ist die Algengattung Spirogyra. (Fig. 23.) Ihre Fäden legen sich ebenso aneinander, ihre Zellen treiben gleichfalls Ausstülpungen gegen einander, die sich durch Auflösung der Wände ineinander öffnen; dann aber wandert der Inhalt der Zellen des einen Fadens durch diesen Verbindungskanal in die Zellen des anderen hinüber, und hier erst findet die Verschmelzung zu den Zygoten statt. Trotz der gleichen Größe der Zellen verhalten sich bei Spirogyra beide Fäden

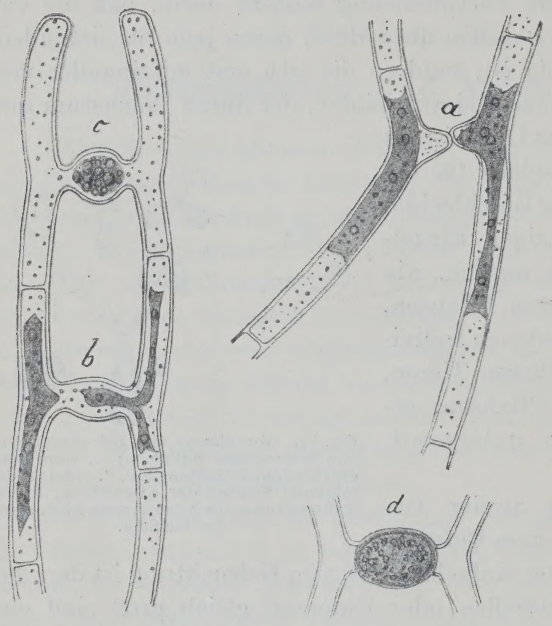

Fig. 22. Kopulierende Fäden von Mesocarpus, a. b. c. d. die Stufenfolge der Zygotenbildung. In jeder Zelle befindet sich nur ein einziger, eine grüne Platte darstellender Farbträger. (Nach de Bary.)

verschieden: der eine entleert das Protoplasma seiner Zellen in den anderen hinein; den ersten Faden können wir daher männlich, den zweiten weiblich nennen.

Die bei der Befruchtung sich vollziehende Zellverschmelzung geschieht in der Weise, daß das Protoplasma sich mit dem Protoplasma, der Kern sich mit dem Kern der anderen Gamete vereinigt. Die Verschmelzung der beiden Zellkerne zeigt sich bei allen Befruchtungsvorgängen im Pflanzen- und Tierreiche und muß darum als besonders wichtig angesehen werden.

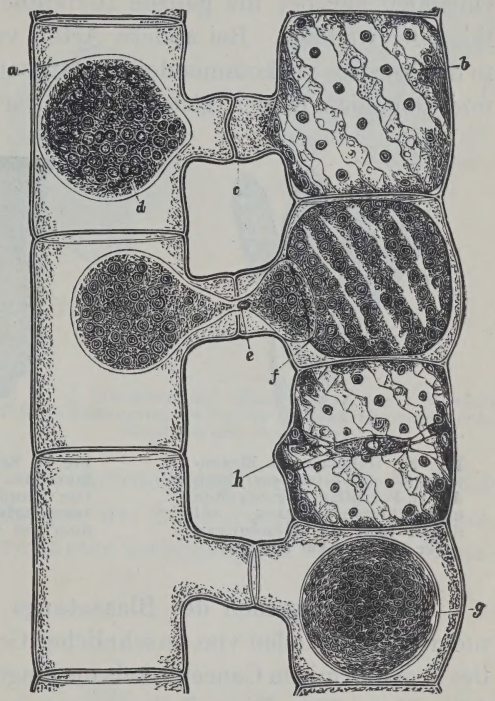

Fig. 23. Kopulation der Zellen zweier Fäden einer Spirogyra; a. männlicher, b. weiblicher Faden; c. die noch geschlossene Wand der Verbindungsschläuche; d. männliche Gamete; e. Durchbohrung der Wand der Verbindungsschläuche und Hinüberwandern der männlichen Gamete zur weiblichen Gamete f.; g. fertige Zygote; h. überzählige und nicht befruchtete Zelle des weiblichen Fadens mit unverändertem Zellinhalt, in der Mitte der längliche Zellkern, unter der Zellhaut der für die Gattung Spirogyra typische, ein Spiralband darstellende Farbträger.

Der ausgeprägteste Typus der Befruchtung besteht in der Differenzierung der beiden Gameten in Eier und Spermien oder Samenfäden; die Eier sind weibliche, die Spermien männliche Keimzellen, und beide pflegen an Gestalt und Größe sehr verschieden zu sein.

Als erstes Beispiel für diese Art der Befruchtung möge der an unseren Meeresküsten allgemein verbreitete Blasentang, Fucus vesiculosus, angeführt sein. Er ist ein ansehnliches Gewächs, das ein halbes Meter Länge erreichen kann und aus einem plattgedrückten, etwa 1 cm breiten, vielfach gabelig geteilten Körper besteht. Die Spitzen der Zweige sind eiförmig ange-

schwollen und tragen viele kleine urnenförmige Einsenkungen von der Größe eines Stecknadelknopfes. (Fig. 24.) Diese Behälter oder Conceptakel bergen entweder männliche oder weibliche Geschlechtsorgane, die man Antheridien und Oogonien nennt. Beim Blasentang bringt eine Pflanze entweder nur Antheridien, oder nur Oogonien hervor; die ganzen Individuen sind also entweder männlich oder weiblich. Bei andern Arten von Fucus, z. B. dem schon in der Nordsee vorkommenden F. platycarpus, finden sich Antheridien und Oogonien in den gleichen Behältern.

Fig. 24. Gabelast des Blasentangs (Fucus vesiculosus); bei b die zu Fortpflanzungsorganen umgebildeten Spitzen, auf denen man die Mündungen der Conceptakel bemerkt.

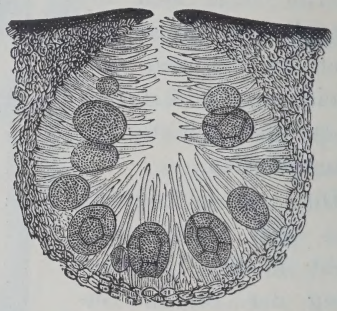

Fig. 25. Schnitt durch ein weibliches Conceptakel des Blasentangs, oben die Mündung. Der Wand des Hohlraums entspringen unverzweigte Haare, zwischen denen man Oogonien auf verschiedenen Entwicklungsstufen bemerkt.

In den Oogonien des Blasentangs entstehen je acht kuglige, membranlose Zellen von ansehnlicher Größe, die durch die Mündung des urnenförmigen Conceptakels ins umgebende Meerwasser gelangen. (Fig. 25 u. 26.) Diese Zellen nennt man Eier; jedes Ei besitzt im Protoplasma einen zentralen Zellkern, und vermöge ihres Fettgehaltes treiben die Eier im Meerwasser. In den Antheridien entstehen sehr viele äußerst kleine, durch zwei Geißeln des Schwimmens fähige Zellen, die aus den männlichen Behältern zu vielen Tausenden ins Meerwasser austreten: es sind Spermien. (Fig. 27.) Die Spermien werden von den Eiern angezogen und umgeben sie in dichten Schwärmen, doch dringt nur eine Spermie in das Ei ein und befruchtet es. Gleich nach dem Eindringen dieser Spermie umkleidet sich das Ei mit einer Membran und verhindert dadurch andere

Spermien zu folgen. Die Spermie besteht der Hauptmasse nach aus einem männlichen Zellkern, der sich mit dem Eikern vereinigt und dadurch die Befruchtung vollendet. Jetzt erst ist das Ei befähigt, sich zu teilen und zu einem neuen Blasentang heranzuwachsen.

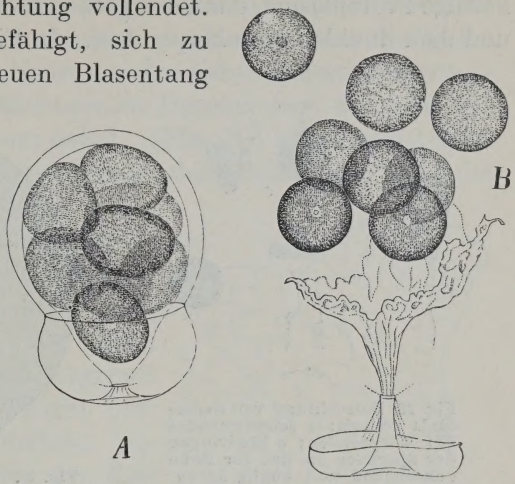

Fig. 26. A Oogonium des Blasentangs, von 8 Eizellen erfüllt; B Entleerung der Eier nach Zerreißung der inneren Membran des Oogoniums.

Daß die bewegungslosen Eier von Fucus mit Schwärmsporen morphologisch verglichen werden können, zeigen die Meeresalgen Zanardinia und Cutleria, bei denen die Eier, mit zwei Geißeln ausgerüstet, im Wasser umherschwimmen, dann zur Ruhe kommen, die Geißeln einziehen und jetzt erst befruchtungsfähig werden; die Befruchtung wird darauf durch ebenso kleine Spermien vollzogen wie bei Fucus (Fig. 28). Zanardinia bildet somit ein interessantes Zwischenglied zwischen Monostroma und Fucus.

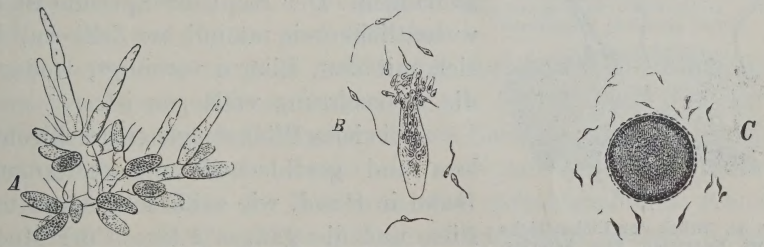

Fig. 27. A Verzweigtes Haarbüschel aus dem Conceptakel einer männlichen Pflanze des Blasentangs mit zahlreichen Antheridien; B Ausschlüpfen der Spermien aus einem Antheridium; C ein von Spermien umschwärmtes Ei.

Ganz ähnlich verläuft der Befruchtungsprozeß bei den Tieren. Auf den niederen Stufen des Tierreichs kommt Kopulation gleich großer Zellen vor, bei den höheren findet sich der Gegensatz von

Eiern und Spermien. In Fig. 29 ist die Eizelle einer Seescheide (Ascidia canina) abgebildet; peripherisch bemerkt man das grobkörnige Protoplasma, dann den großen Zellkern mit dem Fadengerüst und dem dunklen Kernkörperchen. In Fig. 30 ist ein kleines Stück

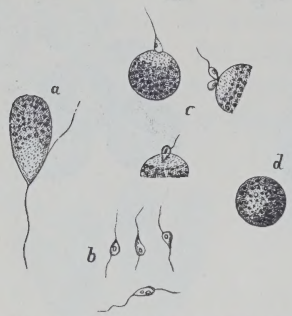

Fig. 28. Befruchtung von Zanardinia collaris; a schwärmendes Ei; b Spermien; c Eindringen der Spermien in das zur Ruhe gekommene und kuglig gerundete Ei; d befruchtetes Ei.

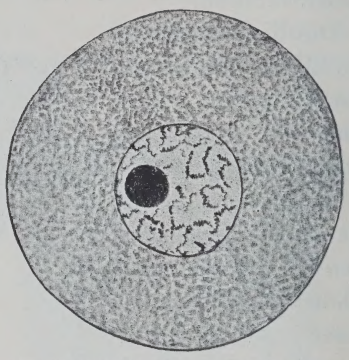

Fig. 29. Unbefruchtetes Ei einer Seescheide oder Tunicate (Ascidia canina).

der Eioberfläche eines Seesterns (Asterias) dargestellt; in die Schleimhülle desselben sind vier Spermien eingedrungen. Der einen Spermie gegenüber bemerkt man eine kleine Warze, den Anziehungskegel, in die eine der Spermien sich hineinbohrt, um weiter in das Protoplasma und gegen den Kern des Eies vorzudringen. Der Kopf der Spermie ist im wesentlichen ein männlicher Zellkern, der sich mit dem Eikern vereinigt, wodurch die Befruchtung vollzogen ist.

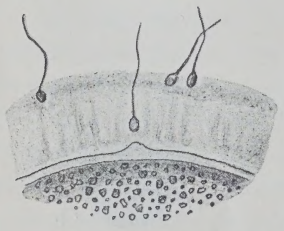

Fig. 30. Stück der Eioberfläche nebst Spermien von Asterias. (Nach Fol.)

Bei vielen Pflanzen gehen geschlechtslose und geschlechtliche Fortpflanzung Hand in Hand, wie zahlreiche Algen und Pilze und die ganzen Klassen der Moose und Farnkräuter es zeigen. Der bei uns allgemein verbreitete Schildfarn (Aspidium Filix mas) besitzt einen dicken unterirdischen Stamm, dem große, gefiederte Blätter, die sogenannten Wedel, entspringen. Diese tragen auf der Unterseite Haufen kleiner, geschlechtsloser Früchte oder Sporangien, in

denen zahlreiche Sporen gebildet werden, die bei der Reife durch Aufspringen der Kapselwand ins Freie gelangen und auf feuchtem Erdboden keimen. Aus diesen geschlechtslosen Sporen entsteht nicht wieder ein Farnkraut, sondern ein kleines, dem Erdboden angeschmiegtes und durch Haare an demselben befestigtes grünes Plättchen von wenigen Millimetern im Durchmesser, das man den Vorkeim oder das Prothallium nennt. (Fig. 31.) An seiner Unterseite entspringen Geschlechtswerkzeuge, deren männliche wie beim Blasentang Antheridien, deren weibliche bei Farnen und Moosen Archegonien genannt werden. In analoger Weise sind die Geschlechtsorgane bei den Moosen differenziert; bei ihnen ist die Frucht oder Kapsel das Ergebnis der Befruchtung. In der Frucht entstehen durch bloße Zellteilung geschlechtslose Sporen, die bei der Keimung beblätterte Geschlechtspflanzen hervorbringen. Ein Archegonium besitzt flaschenförmige Gestalt; man unterscheidet daran einen Bauchteil und einen Hals. Im Bauchteil befindet sich ein Ei von mikroskopischer Größe. Sobald es befruchtungsfähig ist, öffnet sich der Hals an der Spitze und läßt bei Farnen einen Tropfen ganz verdünnter Apfelsäure austreten, bei Moosen verdünnte Rohrzuckerlösung. In Fig. 32 sind drei Entwicklungsstufen des Archegoniums eines Lebermooses (Marchantia polymorpha) gezeichnet. Links ein noch unreifes Stadium mit geschlossenem Halse, der Hals von den verschleimenden Kanalzellen erfüllt. In der Mitte ein geschlechtsreifes, dessen Eizelle sich kuglig gerundet hat, während der zuckerhaltige Schleim aus der Halsöffnung geflossen ist. Rechts der Bauch eines älteren Archegoniums; das Ei hat sich infolge der Befruchtung in vier Embryonalzellen geteilt. In den Antheridien bildet sich eine große Zahl von Spermien, die mehr oder weniger

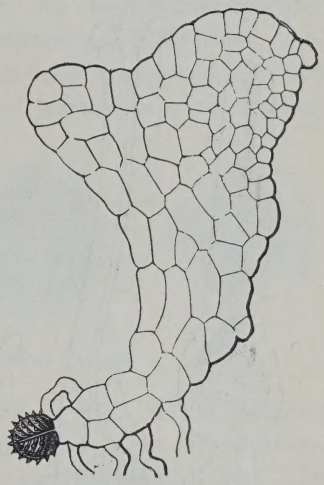

Fig. 31. Junges, aus einer Spore hervorgewachsenes Prothallium eines Farnkrauts (Aneimia hirta).

korkzieherförmige Gestalt besitzen, mit zwei, bei Farnen auch mit sehr vielen Rudergeißeln am Vorderende. Fig. 33 A zeigt ein Antheridium von Marchantia, das dicht erfüllt ist von den Mutterzellen der Spermien; in B eine einzelne fertige Spermie. Die Befruchtung kann nur geschehen, wenn der Vorkeim des Farns oder das Moospflänzchen durch Regen oder Tau in einen Wassertropfen eingehüllt ist. Durch die vom Archegonium ausgeschiedene Apfel-

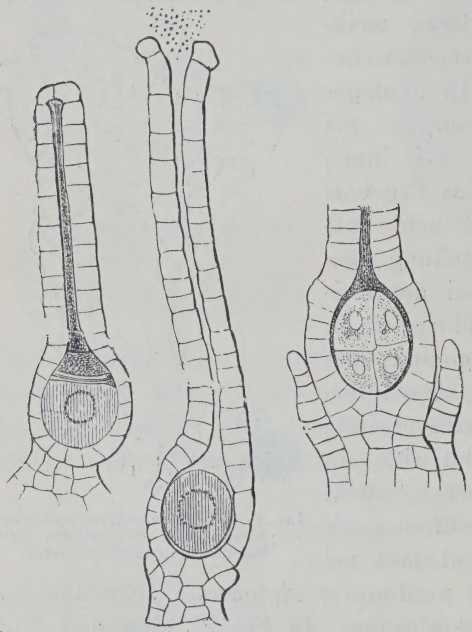

Fig. 32. Archegonien eines Mooses (Marchantia).

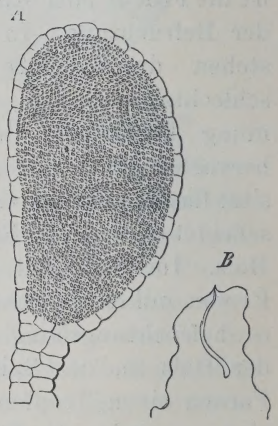

Fig. 33. Antheridium und Spermie von Marchantia.

säure bezw. Rohrzucker werden die Spermien angezogen; sie dringen in den Hals ein, und eine bohrt sich in das Protoplasma des Eies, das gleich darauf eine Zellhaut ausscheidet. Der Körper der Spermie besteht auch hier fast ganz aus Zellkernsubstanz, die sich mit dem Kern des Eies vereinigt. Erst nach dieser Befruchtung wird das Ei teilungs- und entwicklungsfähig und wächst nunmehr zu einer Moosfrucht oder zu einer beblätterten Farnpflanze heran, die von neuem geschlechtslose Sporen trägt. Der Entwicklungsgang eines

Farns setzt sich somit aus zwei Generationen, einer geschlechtslosen und einer geschlechtlichen, zusammen, was man als Generationswechsel bezeichnet. Für sich allein kann die Spore kein neues Farnkraut hervorbringen, bevor nicht die unscheinbare Geschlechtsgeneration der Pflanze durchlaufen ist. Bei den Moosen wird die Geschlechtsgeneration von dem vegetativen blättertragenden Pflänzchen gebildet; die Mooskapsel gilt als ungeschlechtliche Generation, da in ihr zahlreiche Sporen durch Vierteilung von Mutterzellen entstehen.

Auch bei manchen Algen kommt ein Generationswechsel zwischen geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Individuen vor, so bei den im Meere lebenden Florideen und Dictyotaceen. Zu letzteren gehört die schöne, schon an den wärmeren europäischen

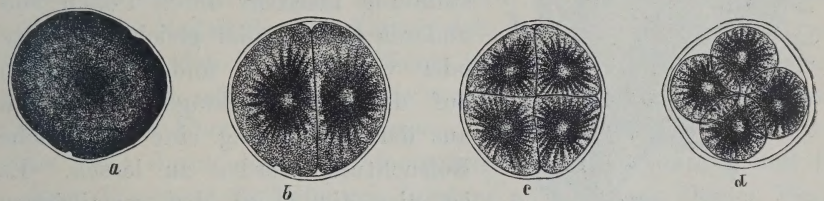

Fig. 34. Tetrasporenbildung von Padina Pavonia.

Küsten häufige Padina Pavonia, von der in Fig. 34 die Bildung der vier ungeschlechtlichen Sporen abgebildet ist: a. ist eine Sporenmutterzelle, die sich in b. einmal, in c. zweimal geteilt hat. In d. sind die Viersporen durch Abrundung fertig geworden; sie werden durch Auflösung der Mutterzellhaut frei. Diese sogenannte Tetradenteilung ungeschlechtlicher Sporenmutterzellen ist gleichsam vorbildlich auch für die Entstehung der Sporen bei Moosen und Farnen, sowie für die Entstehung der Pollenkörner bei den Blütenpflanzen.

Bei den Blütenpflanzen werden die Eizellen oder Eier im Innern der Samenknospen gebildet, während männliche Keimzellen, die Pollenkörner, in den Antheren der Staubgefäße entstehen. Männliche und weibliche Keimzellen sind hier durch die Luft voneinander getrennt und müssen durch diese hindurch zueinander gelangen, was man als Bestäubung von der eigentlichen Befruchtung unterscheidet. Bei den Gymnospermen, wohin die Koniferen

und die Cycadeen gehören, sitzen die Samenknospen auf der Oberfläche oder am Rande flach ausgebreiteter Fruchtblätter (Fig. 35). Bei den Angiospermen oder Bedecktsamigen, welche die Monocotylen und die Dicotylen umfassen, schließen sich die Fruchtblätter um die Samenknospen zu einem Gehäuse, dem Fruchtknoten, zusammen, der sich oberwärts in den fadenförmigen Griffel auszieht und an dessen Spitze die sogenannte Narbe trägt. Bei diesen Gewächsen besteht die Bestäubung darin, daß die Pollenkörner auf die Narbe gelangen müssen, und hierbei zeigt sich die bemerkenswerte Tatsache, daß die Bestäubung meistens durch Pollen von anderen Blumen der gleichen Pflanze oder von Blumen anderer Pflanzen auf die Narbe gelangen muß, um aus der Bestäubung eine erfolgreiche Befruchtung werden zu lassen. Es ist dies die Regel der vermiedenen Selbstbestäubung, die auch bei Pflanzen mit Zwitterblüten herrscht, bei denen Staubfäden und Fruchtknoten in einer Blume vereinigt sind. Durch die Organisation der meisten Blumen wird Selbstbestäubung vermieden, was auf sehr verschiedenen Wegen erreicht wird.

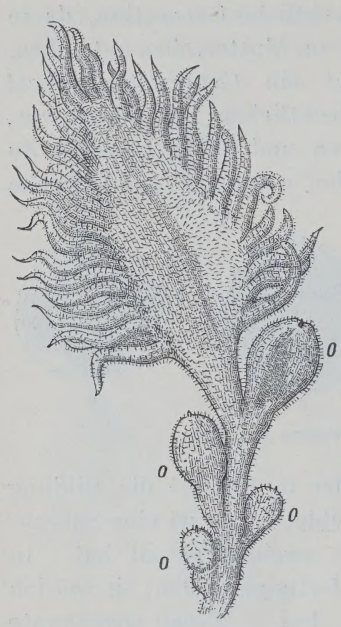

Fig. 35. Fruchtblatt einer Cyadee (Cycas revoluta); die unteren Fiedern sind als Samenknospen (o) ausgebildet.

Bei den einhäusigen und zweihäusigen Pflanzen, bei denen männliche und weibliche Blumen getrennt auf derselben Pflanze oder auf verschiedenen Stöcken stehen, ist die Selbstbestäubung innerhalb einer Blume von selbst ausgeschlossen. Aber auch bei Zwitterblumen ist dies gewöhnlich der Fall. Als wirksamstes Mittel kommt hierbei die Dichogamie in Betracht, welche darin besteht, daß die Antheren früher oder später als die Narben derselben Blume geschlechtsreif werden; im ersten Falle spricht man von Proterandrie, im zweiten von Protogynie. Beispiel einer protogyn-dichogamen

Pflanze ist die im Frühling blühende auf Grasplätzen verbreitete Feldbinse (Luzula campestris). Wenn der gelbliche Pollen aus den Blumen eines Stockes im Winde verstäubt, sind die Narben der gleichen Blumen noch ganz unentwickelt, während sie auf anderen Stöcken zur Bestäubung bereit stehen; in diesen letzteren sind zu jener Zeit die Staubgefäße längst verblüht. Proterandrisch sind z. B. die Blumen des Storchschnabels (Geranium). In bezug auf die Bestäubung verhalten sich daher solche dichogame Pflanzen, als wären sie zweihäusig.

Bei den sogenannten windblütigen Pflanzen, die trockenen, in der Luft verstäubenden Pollen, also wahren Blütenstaub hervorbringen, fehlt eine bunte Blumenkrone; so bei den Brennesseln, den Buchen und Eichen, den Gräsern, Halbgräsern und Binsen. Auch die Nadelhölzer verhalten sich so. Bei diesen Gewächsen wird der Pollen in solcher Menge von den Luftströmungen fortgeführt, daß selten eine Narbe unbestäubt bleibt. Die Pflanzen mit bunter Blumenkrone dagegen besitzen klebrige Pollenkörner, die nicht durch den Wind fortgetragen werden können, und für deren Transport die Hilfe von Insekten oder anderen kleinen Tieren erforderlich ist. Diese Pflanzen sondern am Grunde der Blumenkrone Honig ab, der von den windblütigen Gewächsen nicht erzeugt wird. Durch die farbigen Blumenkronen werden die Insekten angelockt, da sie instinktiv wissen, daß Blumenkronen und Honigabsonderung miteinander verbunden sind. Wenn z. B. eine Biene aus einer Blume Honig trinkt, beladet sie Teile ihres Körpers mit dem klebrigen Pollen und streift diesen auf den Narben anderer Blumen ab, wodurch letztere bestäubt werden. Es gibt eine große Mannigfaltigkeit von Einrichtungen in den Blumen, durch die verhindert wird, daß die Insekten den Pollen auf die Narben der gleichen Blume absetzen, und wodurch sie gezwungen werden, ihn auf die Narben anderer Blumen und womöglich anderer Stöcke zu verschleppen. Auch auf diese Weise werden die Zwitterblumen zu einer Wechselbestäubung veranlaßt, als wären sie einhäusig oder zweihäusig.

Zu den rätselhaftesten Erscheinungen gehört es, daß in einigen Fällen eine Selbstbestäubung der Blumen unter Ausschluß der

Fremdbestäubung vorkommt. Dann pflegen die Blumen sich gar nicht zu öffnen, sondern im Knospenstadium zu verharren, und die Antheren schmiegen sich unmittelbar an die Narben. Die Veilchenarten, die Balsaminen, der Sauerklee usw. tragen zuerst große geöffnete Blumen mit Insektenbestäubung und später kleine, unscheinbare, sogenannte kleistogame Blumen, die wie junge Blumenknospen aussehen und sich selbst bestäuben. Die Bedeutung dieser kleistogamen Blütenform neben den normalen Blumen ist bis jetzt unerklärt geblieben.

Nach erfolgter Bestäubung, durch die die Pollenkörner auf eine geschlechtsreife Narbe gelangten, beginnt eine weitere Vorbereitung der eigentlichen Befruchtung. Das Pollenkorn wächst in einen langen, dünnen Faden aus, den Pollenschlauch, der das Gewebe des Griffels durchbohrt, den Hohlraum des Fruchtknotens durchquert und in die Mündung der Samenknospe eindringt, wo er bis dicht vor die Eizelle gelangt. In dem als zweizellig zu betrachtenden Pollenkorn sind zwei Zellkerne enthalten, die in die Spitze des Pollenschlauchs hinabwandern (Fig. 36). Einer dieser Kerne teilt sich nochmals, worauf sich beide Tochterkerne mit einer dünnen Plasmahülle umgeben; diese Kerne mit ihrer plasmatischen Hautschicht sind Spermien. Dann erweicht die Membran an der Spitze des Pollenschlauchs, und eine der Spermien dringt in die Eizelle ein, um sich mit deren Kern zu vereinigen, wodurch die Befruchtung des Eies vollzogen ist, das nunmehr eine eigene Membran ausscheidet und dann durch Zellteilung den Anfang des Keims einer neuen Pflanze bildet. Dieser Keim wächst bei den Dikotylen zu einem kleinen Pflänzchen heran, das aus Wurzel, Stengel und dem ersten Blattpaare besteht, und das noch von einem Nährgewebe umgeben ist (Fig. 37), das allerdings bei vielen Pflanzen vor der Samenreife wieder aufgezehrt wird. Aus den Hüllen der Samenknospe entwickelt sich die harte Samenschale, welche den Keim und event. das Nährgewebe einschließt, während aus den Fruchtblättern, nicht selten unter Hinzutritt anderer

Fig. 36. I. Pollenkorn, II. Bildung des Pollenschlauchs von Monotropa.

Teile der Blüte, die Frucht gebildet wird. Eine solche Frucht ist z. B. die Hülse einer Erbse, welche mehrere Samenkörner, die Erbsen, einschließt. Ist die Reifung vollendet, so öffnet sich die Frucht, und die Samen gelangen ins Freie.

Die geschlechtliche Fortpflanzung sucht ihr Ziel, die Befruchtung, dadurch zu sichern, daß von jeder Pflanze und von jedem Tier viel mehr Spermien als Eizellen hervorgebracht werden. Nur scheinbar führt dies zu einer großen Verschwendung von männlichen Keimzellen; in Wirklichkeit ist dieser Substanzverlust unbedeutend und fällt nicht ins Gewicht gegenüber der Wichtigkeit des Zustandekommens der Befruchtung. Wenn zur Zeit der Kiefernblüte die ganze Luft des Waldes von Blütenstaub erfüllt ist und die meisten Pollenkörner nutzlos zu Boden sinken, so wird dadurch gewährleistet, daß selten eine Eizelle der weiblichen Blumen von Pinus silvestris unbefruchtet bleibt.

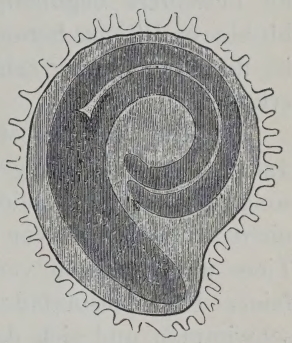

Fig. 37. Schnitt durch einen reifen Samen des Bilsenkrauts (Hyosciamus niger). Innerhalb der rauhen Samenschale liegt zunächst das Nährgewebe, dem der mit zwei Keimblättern versehene Embryo eingebettet ist.

Die Fortpflanzung zeigt ferner eine Tendenz zur Vermehrung der Lebewesen, die besonders bei den Pflanzen deutlich hervortritt. Jede blühende Pflanze vermag unter günstigen Umständen zahlreiche Samenkörper zu reifen, oft Hunderte und Tausende. Man denke nur an die Kirschen, die an einem Baume hängen, und deren jede den Keim einer neuen Pflanze in sich trägt. Diese Überproduktion von Samen bei den Pflanzen dient der Erhaltung der Art; denn zahlreiche, ja die meisten Keime gehen an der Ungunst äußerer Verhältnisse zugrunde, und nur wenige werden blühbare und samentragende Pflanzen. Die Menge der Samen an sich wäre nutzlos, wenn sie nicht über eine möglichst große Erdoberfläche verstreut würde; fielen sie alle dicht neben der Mutterpflanze zu Boden, so müßten sie sich beim Aufgehen gegenseitig ersticken. Kleine Samen werden leicht durch den Wind davon geblasen; manche Samen sind noch von Flughäuten umsäumt, oder tragen Flughaare. Nicht selten sind auch die ganzen Früchte mit Flugapparaten

ausgestattet, so die der Kompositen mit ihrem eine Haarkrone bildenden Pappus. Die Früchte der Ulme, der Esche, des Ahorns sind mit Flughäuten ausgerüstet und werden daher vom Winde verbreitet. Beerenfrüchte werden von Vögeln genossen und ihre harten, unverdaulichen Samen auf diese Weise verschleppt. Im großen und ganzen findet aber doch nur dann eine erhebliche Vermehrung der Individuen einer Art statt, wenn ein neues Stück Land besiedelt werden kann. Werden die Keime der Pflanzen auf Wiesen und dichtbewachsenem Boden ausgestreut, so wird ein Samenkorn nur an besonders begünstigter Stelle aufgehen und zu einer neuen blühbaren Pflanze heranwachsen können. Schon aus diesem Grunde ist die Ausstreuung zahlreicher neuer Keime nötig, um die Art zu erhalten.

Da die Tiere selbst beweglich sind, können sie ihre Eier oder Jungen an Orte bringen, die ihre Entwicklung begünstigen; besondere Ausbreitungseinrichtungen der Keime sind daher bei ihnen nicht vorhanden. Nur die Keimzellen oder Sporen der niedersten Tiere und Pflanzen verhalten sich darin gleich, daß sie vermöge feiner Protoplasmafäden, der Rudergeißeln, im Wasser umherschwimmen und sich darin ausbreiten.

Die festgewachsenen Pflanzen verbreiten und vermehren sich häufig auch durch kriechende Erdstengel (Rhizome) und oberirdische Ausläufer. Erstere finden sich z. B. beim Schilfrohr und der Quecke, letztere bei der Erdbeere. Ein Ausläufer der letzteren ist ein horizontal über den Erdboden hinwachsender Zweig, der an einzelnen Stellen Blätter und Wurzeln hervorbringt. Zwischen diesen blättertragenden und bewurzelten Stellen stirbt der Ausläufer ab, und es sind durch ihn dann mehrere bewurzelte neue Pflänzchen hervorgebracht worden. Auf diese und ähnliche Weise können manche Pflanzen sich ansehnlich vermehren und, wenn sie wie die Quecke ein besonders lebhaftes Wachstum besitzen, zahlreiche Nachbarpflanzen unterdrücken. Die künstliche Vermehrung von Bäumen und Sträuchern durch Stecklinge gehört gleichfalls hierher. Schneidet man von einer Weide einen Zweig ab und steckt ihn in feuchtes Erdreich, so treibt er Wurzeln aus der Schnittfläche und kann zu einem neuen, selbständigen Weidenbaum heranwachsen. Im Grunde ist

diese vegetative Vermehrung durch Sprosse nicht wesentlich verschieden von der Vermehrung und Fortpflanzung durch ungeschlechtliche Keimzellen oder Sporen. Die an der Spitze der Sprosse gelegenen Vegetationspunkte der höheren Pflanzen gleichen den durch Befruchtung erzeugten Keimlingen der Samenkörner und sind wie letztere Träger der erblichen Eigenschaften der Art.

Kapitel 7.

Entwicklung und Vererbung.

Bei den höheren Pflanzen können wir eine Entwicklung aus den an der Spitze der Sprosse gelegenen Vegetationspunkten und eine Entwicklung aus den durch die Befruchtung gebildeten Keimzellen unterscheiden; beide stimmen in wesentlichen Stücken überein und unterscheiden sich wieder in anderen.

In Fig. 17, S. 29 wurde bereits der Vegetationspunkt einer verbreiteten Wasserpflanze, der Wasserpest (Elodea canadensis) abgebildet. Am Scheitel, bei a, tritt uns ein gleichförmiger Zellenkomplex entgegen, der den jüngsten Teil der Sproßspitze einnimmt. Bei b und weiter bei 1. und 2. haben sich die jüngsten Anfänge von Blättern aus jenem gleichförmigen Gewebe des Vegetationspunktes ausgesondert, und würden wir über die Abbildung hinaus die Fortsetzung dieser Sproßspitze untersuchen, so würden wir auf immer ältere, zuletzt auf ausgewachsene Blätter treffen; zugleich würde im Innern eine Sonderung verschiedener Gewebesysteme hervortreten. In ähnlicher Weise ist der Vegetationspunkt einer Blüte zuerst ein halbkugeliger Höcker, dann treten an ihm die Anfänge der Kelchblätter, der Blumenkrone, der Staubblätter und der Fruchtblätter nacheinander hervor, um durch Wachstum ihre endgültige Gestalt und Größe zu erreichen. Alle diese Teile haben sich aus dem ursprünglichen, noch nicht differenzierten Gewebe des Vegetationspunktes *entwickelt*. Sie waren als unsichtbare *Anlagen* in ihm gegeben.

Fig. 38 zeigt den Aufbau des Keimlings oder Embryo der Rapspflanze aus der befruchteten Eizelle. Diese hat sich zunächst in die Länge gestreckt und ist durch Teilung in drei Zellen zerfallen (1),

deren oberste b die eigentliche Keimmutterzelle, deren übrige den sogenannten Aufhängefaden bilden. In 2. hat die Keimmutterzelle sich in acht Zellen gespalten; bei A sind diese Zellen mit Andeutung von Plasma und Kernen dargestellt, bei B im Durchschnitt, der nur vier Zellen erkennen läßt. In 3., 4. und 6. sind durch weitere Teilungen mehr- und vielzellige Stadien des Keims entstanden, die hier im Längsschnitt, bei 5. und 7. im Querschnitt wiedergegeben werden. In 8. sind die beiden ersten Blätter des Keimlings bereits hervor-

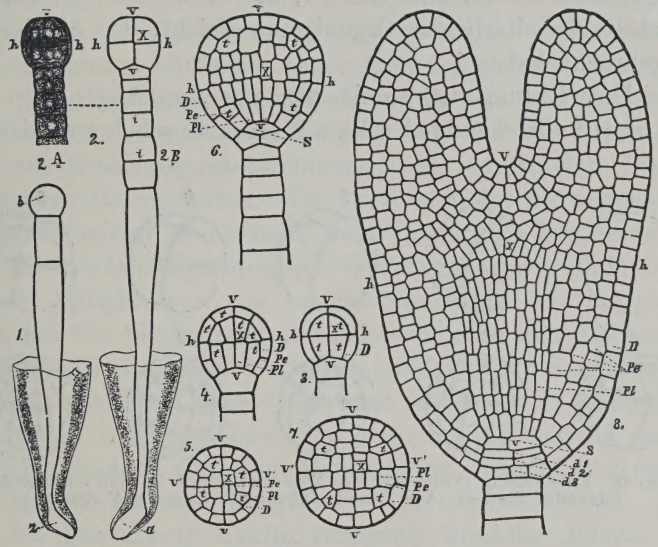

Fig. 38. Entwicklung des Embryo vom Raps (Brassica Napus).

getreten, zwischen denen bei V sich erst später der eigentliche Vegetationspunkt ausbildet, während ihm gegenüber der Vegetationspunkt der Wurzel liegt und im Innern des letzteren schon eine Sonderung der Gewebe erkennbar wird.

Fig. 39 bringt die Teilung des befruchteten Eies, die sogenannte Furchung, beim Frosch (Rana temporaria) zur Darstellung; 1. ist das unbefruchtete, noch ungeteilte Ei in der Ansicht von außen; in 2. ist es in zwei, in 3. in vier, in 4. in acht ungleiche Zellen geteilt. Die Teilung schreitet dann weiter vor, bis eine große Zahl von Zellen entstanden ist, die sich zu einer Hohlkugel ordnen.

Geradeso wie aus der befruchteten Eizelle kann sich auch aus geschlechtslosen Keimzellen durch Wachstum unter fortwährender Formwandlung und fortschreitender Sonderung der inneren Gewebe und Organe die Gestalt eines Organismus aufbauen. Es möge fortan aber die Entwicklung befruchteter Eizellen ausschließlich ins Auge gefaßt werden. Diese Entwicklung beruht auf dem Vermögen der Keimzelle, gesetzmäßig unter Wachstum und fortwährender Zellteilung eine bestimmte, scharf vorgeschriebene Gestalt aus sich hervorgehen zu lassen, eine Gestalt, die mehr oder weniger genau der Gestalt des elterlichen Organismus gleicht, der die Keimzelle hervorgebracht hat.

Die Entwicklung ist somit der vor den Augen des Beobachters sich vollziehende Ablauf eines Geschehens, nicht aber

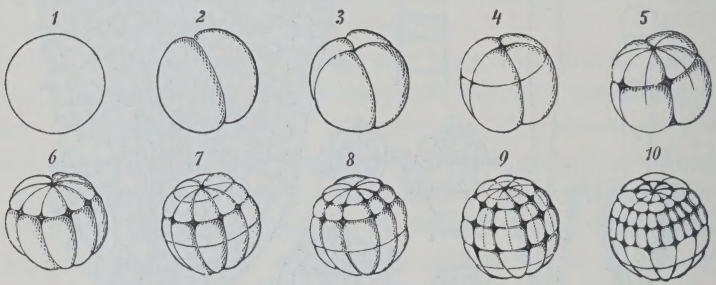

Fig. 39. Entwicklung (Furchung) des Eies vom Frosch in zehn aufeinander folgenden Stadien. (Aus Claus-Grobben, Lehrbuch der Zoologie).

seine Ursache. Der Weg, auf dem in der Entwicklung die Gestalt des fertigen Organismus erreicht wird, kann als Keimbahn bezeichnet werden. In der Keimzelle sind alle Eigenschaften des Organismus als unsichtbare Anlagen gegeben; sie ist gewissermaßen das noch nicht ausgebildete Tier, die noch nicht entwickelte Pflanze. Weil aus der Keimzelle des Salamanders immer wieder nur ein Salamander, aus der Keimzelle des Apfelbaums immer nur ein Apfelbaum wird, so müssen der Anlage nach die Keimzellen der verschiedenen Arten bei Tieren und Pflanzen spezifisch so verschieden voneinander sein, wie die fertigen Organismen, und diese Verschiedenheit der Keimzellen kann nur auf einer eigenartigen, wenn

auch nicht erkennbaren Struktur der Keimzellen beruhen, die diese von ihren Eltern e r e r b t haben.

Unter V e r e r b u n g versteht man den Ursachenkomplex, der die Gestalt der Eltern in die Anlagen der Keimzellen umsetzt, aus der sie dann im Entwicklungsgange des neuen Individuums zur Entfaltung gelangen und dadurch den Bestand der Art oder Rasse erhalten.

In der Befruchtung werden die Keimzellen und damit die Anlagen der Eigenschaften zweier verschiedener Individuen miteinander gepaart. Solche Paarung kann vollzogen werden zwischen den einander höchst ähnlichen Individuen der gleichen Rasse, oder zwischen den Individuen verschiedener Rassen und selbst verschiedener Arten. Im ersteren Falle spricht man von I n z u c h t; sie führt zur Erhaltung reiner Rassen, z. B. bei Hunden, Pferden, Gartenblumen, Getreidearten. Im zweiten Falle, der sogenannten Kreuzung, entstehen Mischrassen oder Bastarde. Um einen Einblick in die Gesetzmäßigkeiten der Vererbung zu gewinnen, ist die Bildung der Mischrassen von besonderem Interesse, weil es sich bei ihnen um die Vereinigung abweichender, von den Eltern überlieferter Eigenschaften oder Merkmale handelt. Wir verdanken die grundlegende Kenntnis dieser wichtigen Vorgänge in erster Reihe den wertvollen Arbeiten G r e g o r M e n d e l s, weshalb man in der Vererbungslehre von den Mendelschen Regeln zu sprechen pflegt. Hierfür ein paar Beispiele.

Die als Zierpflanze häufig gezogene Mirabilis Jalapa blüht in verschiedenen Farben, die sich bei Inzucht als reine Rassen erweisen. Kreuzt man eine rotblühende mit einer weißblühenden Mirabilis, so ergibt sich eine rosa blühende Mischrasse. Die Merkmale der roten und weißen Blumenfarbe haben sich zu einem Mittelwerte geeint. Werden Pflanzen dieser rosa blühenden Mischrasse in Inzucht befruchtet, so entstehen Samenkörner, von denen die Hälfte wieder rosa blühende Pflanzen, ein Viertel aber rotblühende und ein Viertel weiß blühende Exemplare liefert. Der Mischling hat sich also nur in $^1/_2$ der Individuen als ein solcher erhalten; die andere Hälfte ist je $^1/_4$ in die rot blühende, je $^1/_4$ in die weiß blühende Urform zurückgeschlagen, und fortgesetzte Versuche ergeben, daß

dies eine Rückkehr in die ursprüngliche reine Rasse war, während der rosa blühende Mischling zweiter Generation sich genau verhält wie der erster Generation, d. h. $^1/_4$ seiner bei Inzucht erzielten Nachkommen schlägt in die weiße, $^1/_4$ in die rote reine Stammrasse zurück, und $^1/_2$ bleibt rosa Mischling. Dies Verhalten geht ins Unbegrenzte fort, bis schließlich die Mischlinge ganz geschwunden sind. Dies ist die Mendelsche Spaltungsregel. Danach findet bei der Kreuzung eine Mischung, bei der Fortpflanzung des Mischlings eine teilweise, und zwar die Hälfte der Individuen treffende Entmischung von Merkmalen statt. Man sucht diese Tatsache durch die Hypothese zu erklären, daß die zu rot und weiß führenden Anlagen der Merkmale in den Geschlechtszellen der reinen Rassen, auch in den Geschlechtszellen des Mischlings geschieden bleiben, und daß dann bei der Inzucht des Mischlings die Verbindung der Anlagen von rot und weiß doppelt so oft eintritt als die Verbindung von Rot mit Rot und von Weiß mit Weiß.

In diesem Falle handelt es sich um die Vererbung chemischer Merkmale, denn die Farbstoffe sind chemische Eigenschaften der Pflanze. Das Verhalten der Mischlinge kann aber auch ein anderes sein. Kreuzt man die rot und die weißblühende Rasse der Felderbse miteinander, so ergibt die erste Generation des Mischlings nur rot blühende Pflanzen. Werden diese miteinander befruchtet, so blühen unter den Individuen der zweiten Generation $^3/_4$ rot, $^1/_4$ weiß. Die weiße Farbe war also nach der ersten Kreuzung latent geworden, und Mendel nennt darum den roten Farbstoff ein dominierendes, den weißen ein rezessives Merkmal (Prävalenzregel). In der zweiten Generation wurde die weiße Farbe bei $^1/_4$ der Individuen wieder ausgelöst oder abgespalten, und zwar als Rückschlag zur reinen Rasse. Aber auch von den $^3/_4$ rotblühender Individuen ist $^1/_4$ reine Rasse, $^1/_2$ ist Mischrasse, in der die weiße Farbe neben der roten latent wurde; diese rote Mischrasse spaltet dann bei fortgesetzter Inzucht in gleicher Weise wie bei der zweiten Generation die reinen Rassen ab.

Wenn eine Art mit gesägten und eine solche mit ganzrandigen Blättern gekreuzt wird, so kann die Mischform kleinere Sägezähne besitzen oder genau die Blattgestalt der einen Art. In beiden Fällen

erfolgt die Spaltung wie bei Mirabilis und Pisum, und doch haben wir es hier mit einem rein morphologischen Merkmal zu tun. Auch physiologische Merkmale, wie z. B. Rassen mit verschiedener Blütezeit, können bei Kreuzung als Mittelwert eine mittlere Blütezeit ergeben. Übrigens kommen auch Bastarde vor, die bei fortgesetzter Kultur sich nicht wieder spalten, und endlich gibt es Bastarde, die überhaupt keine keimfähigen Samen hervorbringen. Diese verschiedenen Typen von Bastarden sind auch im Tierreich vorhanden.

Daß bei der Vererbung die Nachkommen sowohl durch die Gestalt des Vaters als durch die der Mutter beeinflußt werden können, ist schon aus den Ähnlichkeitsverhältnissen menschlicher Familien bekannt, und ebenso verhält es sich im ganzen Tier- und Pflanzenreich. Es ist daher falsch, wenn gesagt wird, die Spermie übe lediglich einen die Entwicklung auslösenden Einfluß auf die Eizelle aus. In der Spermie wie im Ei sind die unsichtbaren Anlagen aller Merkmale des erwachsenen Individuums gegeben, von dem diese Zellen abgegliedert wurden. Das Wesen dieser Anlagen ist völlig unbekannt, und die darüber ausgesprochenen Mutmaßungen stehen vielfach miteinander in Widerspruch. Neben den Chromosomen des Zellkerns wird neuerdings auch dem Protoplasma immer mehr die Eigenschaft zugeschrieben, als Träger der Vererbung dienen zu können, wenn auch in vielen Fällen die Spermie nur ein Minimum von Protoplasma enthält.

In der Zelle sind zweifellos Protoplasma und Zellkern untrennbar zu einer biologischen Einheit miteinander verbunden. Ein Kern ist nicht existenzfähig ohne zugehöriges Plasma, Protoplasma ohne Zellkerne ist im Tier- und Pflanzenreiche nicht lebensfähig, wenn wir von der unvollkommensten Zellenstufe absehen, wie sie bei den Spaltpilzen vorkommt. Weil aber bei der Befruchtung gerade die Zellkerne sich vereinigen und das Protoplasma der männlichen Sexualzellen oft an Menge ganz zurücktritt, so hat man zweifelsohne mit Recht den festen Bestandteilen der Kernsubstanz, nämlich den Chromosomen, eine besonders wichtige Rolle für die Übertragung der erblichen Eigenschaften zugesprochen. Bei dieser Annahme darf man indes nicht übersehen, daß auch das Protoplasma bei der Vererbung in Betracht kommt. Man darf sich vorstellen,

daß die Kernsubstanz in den Keimzellen jeder einzelnen Tier- und Pflanzenart eine spezifische Beschaffenheit hat, und daß diese Beschaffenheit sich in den Kernen aller Körperzellen erhält. Denn manche Pflanzen können wir in ihre Gewebezellen zerhacken, und aus jeder unverletzten Gewebezelle vermag dann bei zweckmäßiger Kultur auf rein vegetativem Wege eine neue Pflanze der gleichen Art heranzuwachsen. Wie die Substanz der Kerne dürfte auch die Substanz des Protoplasma jeder Art eine etwas andere sein. Endlich müssen in einer Pflanze die Protoplasmen verschieden gestalteter, nebeneinander liegender Zellen auch verschiedene Eigenschaften besitzen, sonst wären sie nicht zu verschiedenen Formen geworden. Durch das alles werden wir auf den in der neueren Biologie wichtig gewordenen Begriff des Individualplasma hingeführt. Worin die Verschiedenheit der Eigenschaften von Zellkern und Protoplasma bei verschiedenartigen Zellen besteht, ist unbekannt; doch die Unauslöschlichkeit und Selbständigkeit der in den Keimzellen gegebenen, unsichtbaren Merkmalsanlagen gelangt im Verfolg der Entwicklung stets zum klaren Ausdruck. Wenn die Nachkommen gesetzmäßig den Eltern gleichen, so werden sie dazu durch den Erbzwang genötigt, der von den elterlichen Organismen in die Keimzellen hineingelegt wird und in der Entwicklung dieser bis zu neuen fertigen Organismen hin sich geltend macht. Worin dieser Erbzwang besteht, ist unaufgeklärt, und die darüber aufgestellten Hypothesen können hier nicht berücksichtigt werden.

Nur eins sei noch hervorgehoben. Die Übereinstimmung der Nachkommen mit den Eltern sowie der Geschwister untereinander ist keine vollständige; sie führt nicht bis zur Kongruenz, auch nicht bis zur völligen Gleichheit der Gestalt. Die Vererbung bewirkt nur eine Erhaltung der Gestalt mit Schwankungen, d. h. mit kleineren oder größeren Abweichungen von einer Mittelform. Wie man an einem Baume nicht zwei ganz gleiche Blätter findet, so findet man auf einem mit Raps, Erbsen oder Getreide bestandenen Felde nicht zwei völlig gleiche Pflanzen. Alle Einzelwesen unterscheiden sich voneinander, wie auch alle Tiere in einer noch so großen Herde kleine Verschiedenheiten voneinander besitzen. Diesen Spielraum,

in dem die Vererbung sich bewegt, nennt man die Variation oder Variabilität. Auf sie wird in der Abstammungslehre zurückzukommen sein. Wenn das Problem besteht: Warum gleichen die Nachkommen den Eltern? so ist es stets innig verknüpft mit der andern Frage: Wie und warum unterscheiden sich Geschwister voneinander und von den Eltern?

Die Entwicklung eines Tiers oder einer Pflanze aus dem Ei wird aber nicht allein durch Vererbung der elterlichen Eigenschaften bestimmt, sondern sie hängt daneben von einer Reihe ganz anderer Faktoren ab, die wir als die äußeren Bedingungen der Entwicklung bezeichnen können.

Wenn wir ein Hühnerei bei Zimmertemperatur aufbewahren, so wird sich niemals daraus ein Hühnchen entwickeln. Es ist nötig, daß wir es einer höheren Temperatur aussetzen, sei es im Brütofen, sei es unter dem Körper der Henne, damit die Entwicklung platzgreift. Diese Brutwärme ist die äußere Bedingung für die Entwicklung des Vogels. Läßt man eine Erbse oder Bohne an trockener Luft liegen, so verändert sie sich nicht. Bringen wir sie in feuchtes Erdreich bei einer Temperatur von etwa null Grad, so quillt sie etwas auf, ohne sich zu entwickeln. Die Entwicklung des Samenkorns zur Pflanze tritt erst ein bei höherer Temperatur, sehr lebhaft bei 30 Grad C. Würden wir solche Temperatur von 30 Grad, die der Brütwärme beim Hühnerei vergleichbar ist, auf das trockene Samenkorn einwirken lassen, so würde es sich gleichfalls nicht verändern. Für die Entwicklung (Keimung) eines Samenkorns sind daher Feuchtigkeit und Wärme die erforderlichen äußeren Bedingungen. Im Eiweiß und Dotter des Hühnereis fand der Keim des Hühnchens die erforderlichen Nährstoffe, um den Körper des fertigen Küchleins daraus aufzubauen. Auch dies Nährmaterial kann als eine äußere, und zwar chemische Bedingung der Entwicklung angesehen werden; da Eiweiß und Dotter einen großen Wassergehalt besitzen, so war dadurch auch für die erforderliche Feuchtigkeit gesorgt, wie sie das Samenkorn im benetzten Erdboden findet. Das letztere besitzt im konzentrierten Zellinhalt des reifen Samens zugleich einen Vorrat an Eiweißstoffen, Kohlenhydraten und Fetten, wie er dem Keime des Hühnchens in Dotter

und Eiweiß zur Verfügung steht. Somit ist die Entwicklung von Tier und Pflanze eine vollkommen analoge, nicht nur in bezug auf die inneren, erblichen Entwicklungsbedingungen, sondern auch in bezug auf die äußeren Entwicklungsbedingungen, wie sie als Wärme, als Feuchtigkeit und als Vorrat organischer Kohlenstoffverbindungen gegeben sein müssen, um die unsichtbaren Anlagen der Teile zu den sichtbaren Organen der fertigen Gestalt auswachsen zu lassen.

Während der Entwicklungsprozeß eines Wirbeltiers mit der Geschlechtsreife des Individuums im wesentlichen zum Abschluß gelangt, werden in der Bildung neuer Vegetationspunkte bei Pflanzen immer neue Entwicklungsherde und Entwicklungsanfänge hervorgebracht, die durch Hervortreiben seitlicher Organe sowie durch innere Differenzierung der Gewebe neue Wurzeln, Laubsprosse, Blüten und Früchte liefern können. In allen diesen Vegetationspunkten gelangt der ursprünglich in den Keimzellen gegebene Erbzwang zur Fortwirkung; immer muß er mit äußeren Bedingungen, mit der Zufuhr von Wasser und Nährstoffen in Wechselwirkung treten, um ein lebensfähiges Organ der Pflanze hervorzubringen. Wird die Temperatur stark herabgesetzt, fehlt das Wasser, oder fehlen die Nährstoffe, so hört die Entwicklung auf. So wenig diese äußeren Umstände ohne den inneren Erbzwang einen Organismus aufbauen können, so wenig leistet die Vererbung ohne die Mitwirkung der äußeren Bedingungen.

Bemerkenswert ist der Entwicklungsgang der durch eine Metamorphose ausgezeichneten Insekten, z. B. eines Schmetterlings. Das geschlechtsreife Tier, der Falter, legt Eier, und aus dem Ei entwickelt sich nicht wieder unmittelbar ein Falter, sondern die Raupe, d. h. ein Tier, das dem Falter höchst unähnlich ist. Der Falter besitzt Flügel, die Raupe ist flügellos; der Falter hat einen Saugrüssel, die Raupe beißende Mundteile; der Falter hat Fühler und sechs Beine, die Raupe ist fühlerlos und hat oft sehr zahlreiche Beine. Die Raupe ist zur Fortpflanzung unfähig; ist sie unter Nahrungsaufnahme zu einer gewissen Größe herangewachsen, so verwandelt sie sich in eine Puppe, die bei manchen Gattungen noch in ein Cocon feiner Seidenhaare eingesponnen wird. Aus der festen Hülle der Puppe schlüpft endlich der Falter hervor, wie das Küchlein

aus der Eierschale; dabei ist diese Verwandlung nicht auf die äußere Gestalt beschränkt, sondern sie wird begleitet von einer Auflösung und Umlagerung der inneren Gewebe und Organe.

An die Metamorphose der Kerbtiere reiht sich der Generationswechsel bei niederen Tieren, z. B. den Medusen. Die in der Ost- und Nordsee frei umher schwimmende Ohrenqualle (Aurelia aurita) bringt befruchtete Eier hervor, aus denen zunächst eine schwimmende Larve entsteht, die sich dann an einen festen Gegenstand im Wasser ansetzt und durch Metamorphose zu einem Polypen umbildet. Dieser Polyp gliedert auf ungeschlechtlichem Wege eine größere Zahl von Geschlechtstieren, d. h. von frei umher schwimmenden Medusen, ab, die ihrerseits wieder Eier legen. Ganz entsprechend verläuft der Generationswechsel bei den Farnkräutern. Hier bringt die große Farnpflanze ungeschlechtliche Keimzellen oder Sporen hervor; aus der keimenden Spore entwickelt sich die unscheinbare lebermoosähnliche Geschlechtspflanze, die ihrerseits Eier und Spermien trägt und aus dem befruchteten Ei wieder ein neues, ungeschlechtliches Farnkraut hervorgehen läßt.

Kapitel 8.

Reizbarkeit und Empfindung.

Die Reizbarkeit, d. h. die Eigenschaft, durch äußere Einflüsse erregt zu werden und in eigenartiger Weise auf sie zu reagieren, ist eine allgemeine Eigenschaft des lebenden Protoplasma. Unter Empfindung verstehen wir dagegen das Bewußtwerden der Reizwirkungen, wie wir es aus unserer eignen täglichen Erfahrung kennen. Daß nicht nur der Mensch, sondern daß auch die höheren Tiere bewußte Empfindung von Reizen haben, kann nicht bezweifelt werden; dafür spricht nicht nur ihr Verhalten, sondern auch ihre Organisation. Die anatomische Struktur des dem Empfindungsvermögen dienenden Apparats, wie wir ihn am menschlichen Körper kennen, wiederholt sich bei den höheren Tieren, wenn auch in mancherlei Abweichungen. Wir haben zu unterscheiden zwischen den Eingangspforten der Empfindung, den Sinnesorganen, den als Leitungsbahnen dienenden Nervenfasern und dem nervösen Zentralorgan, das sich in Gehirn und Rückenmark gliedert. Das Gehirn, welches beim Menschen 50 bis 60mal so schwer ist als das Rückenmark, zerfällt hauptsächlich in die graue Hirnrinde und die davon bedeckte weiße Hirnmasse. Während die letztere überwiegend aus einem Flechtwerk von Nervenfasern besteht, ist die graue Hirnrinde hauptsächlich aus Ganglienzellen aufgebaut, in welche die Nervenfasern einmünden. In Fig. 40 ist bei a eine bipolare, d. h. zwei Nervenfasern entsendende, bei b eine multipolare Ganglienzelle abgebildet. Auch das Rückenmark läßt eine graue und eine weiße Gewebemasse unterscheiden; doch liegt hier die graue Substanz im Innern und wird von der weißen umhüllt.

Die in ungeheurer Anzahl im Gehirn vorhandenen Ganglienzellen gelten als Zentren der Erregung; sie sind überall durch Nerven-

fasern miteinander verbunden, die als feine Fortsätze der Ganglienzellen gelten. Die Nervenfasern laufen teils von den Ganglien zu den Sinnesorganen und heißen dann sensible Fasern, oder von den Ganglien zu den Muskeln, den mechanischen Bewegungsapparaten des Körpers; diese werden motorische Fasern genannt. In Fig. 41 ist bei p. die zu einer Endplatte erweiterte Ansatzstelle eines Nerven an einer quergestreiften Muskelfaser der Eidechse abgebildet. Der im Protoplasma einer Sinneszelle eingetretene Reiz wird gleichsam

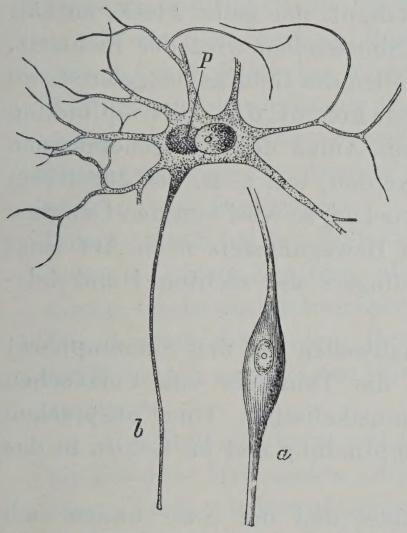

Fig. 40. Ganglienzellen; bei p ein Pigmentklümpchen neben dem Zellkern. (Aus Claus-Grobben, Lehrbuch der Zoologie.)

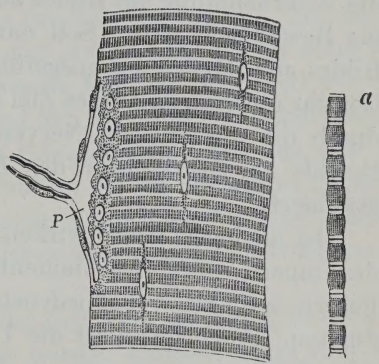

Fig. 41. Verbindung eines motorischen Nerven mit einer quergestreiften Muskelfaser. Rechts daneben bei a, eine Primitivfibrille, wie sie die quergestreiften Muskelfasern zusammensetzen. (Aus Claus-Grobben, Lehrbuch der Zoologie.)

durch die Nervenfaser zu einer Ganglienzelle telegraphiert, veranlaßt hier einen zweiten Reiz, der von der motorischen Faser zum Muskel geleitet wird, und der in dieser einen dritten Reiz, nämlich die Bewegung des Muskels, bewirkt. Diese Reizverkettung kann durch Vermittlung der Ganglienzellen der Großhirnrinde ins Bewußtsein treten und wird damit zugleich ein psychischer Vorgang. In welcher Weise die psychische Erscheinung, d. h. die eigentliche Empfindung, mit der physiologischen Reizkette zusammenhängt, ist unbekannt.

Den fünf Sinnenempfindungen des Sehens, Hörens, Riechens, Schmeckens und Tastens, die alle erst im Gehirn uns bewußt werden, entsprechen an der Oberfläche des Körpers ebenso viele verschiedene Arten von Sinnesorganen.

Der Lichtempfindung dient das Auge. Es ist ein dioptrischer Apparat, in welchem nach der Art einer Camera obscura die Bilder äußerer Gegenstände auf eine lichtempfindliche Platte, die Netzhaut, geworfen werden. In der Netzhaut finden sich überaus zahlreiche Sinneszellen von zweierlei Art, die man als Zäpfchen und Stäbchen unterscheidet. Eine Stelle der Netzhaut, der gelbe Fleck, enthält nur Zäpfchen-Zellen. Von diesen Sinneszellen wird der Lichtreiz, bezw. der Bildreiz zu den Ganglienzellen des Gehirns fortgeleitet, wo die Wahrnehmung des Bildes zustande kommt, d. h. als Empfindung ins Bewußtsein tritt. Soll dann aus Anlaß des wahrgenommenen Bildes eine Bewegung ausgeführt werden, will z. B. der Jäger sein Gewehr auf ein geschautes Ziel abdrücken, so wird von den Ganglien durch die motorischen Nerven ein Bewegungsreiz nach Art eines Befehls zur Muskulatur des Zeigefingers der rechten Hand telegraphiert.

In analoger Weise wirken Schallwellen auf den Sinnesapparat des innern Ohrs, wo namentlich die Tausende von Corti'schen Fasern auf die verschiedensten musikalischen Töne ansprechen dürften. Auch hier tritt die Tonempfindung erst im Gehirn in das Bewußtsein.

Auf der Schleimhaut des Mundes und der Nase finden sich Schmeckzellen und Riechzellen, auf die chemische Reize verschiedener Art einwirken, die auch erst im Gehirn als Geschmacksempfindung und Geruchsempfindung bewußt werden. Ein gleiches gilt von der Tastempfindung, deren Berührungsreize aufnehmende Organe in die Oberhaut des Körpers, besonders an empfindlichen Stellen wie den Fingerspitzen, eingesenkt sind.

Bemerkenswert ist die Eigenart des Verhaltens der einzelnen Sinnesorgane, die man als „spezifische Sinnesenergie" bezeichnet hat. Wird z. B. der Sehnerv auch durch andere Reize als durch das Licht erregt, etwa durch mechanischen Druck oder durch Elektrizität, so entsteht im Bewußtsein immer nur eine Lichtempfindung; der

Hörnerv reagiert auf die verschiedensten Reizarten durch eine Schallempfindung.

Jeder Reiz muß eine gewisse Stärke besitzen, um empfunden zu werden. Ist ein Lichtunterschied zu schwach, ein Geräusch zu gering, ein Druck zu unbedeutend, so werden sie nicht wahrgenommen; man sagt, sie bleiben unter der Schwelle der Empfindung, und man spricht vom Schwellenwert eines Reizes, vom Überschreiten der Reizschwelle. Diese Abhängigkeit der Reaktion von einer gewissen Stärke des Reizes scheint für alle bekannten Reizvorgänge Gültigkeit zu haben.

Doch auch stärkere Reize brauchen nicht ins Bewußtsein zu treten. Auf Reize hin findet in den zahlreichen Drüsen unseres Körpers eine Absonderung von Flüssigkeit, z. B. des Speichels statt, deren wir uns nicht bewußt zu werden brauchen. Mancherlei Muskelzuckungen vollziehen sich auf Anlaß von Reizen ohne Mitwirkung des Bewußtseins. In diesem Falle spricht man von Reflexen. Auch bei den Reflexen wird der Reiz durch sensible Nervenfasern zu einem Zentrum, also zu Ganglienzellen, geleitet, und von diesen ergeht ein motorischer Befehl an die erforderlichen Muskeln. Die Zentren dieser dem Bewußtsein entzogenen Reflexe scheinen bei Menschen und bei den Wirbeltieren überwiegend im Rückenmark zu liegen.

Den Reflexen verwandt sind die Instinkte der Tiere, da sie nicht als bewußte Willensakte aufgefaßt werden können, wenn ihre Ausübung auch mit Bewußtseinsvorgängen, vielleicht mit Lustgefühlen, verbunden sein mag. Die Instinkthandlungen sind ererbte Fähigkeiten der Tiere. Wenn der Schmetterling fliegt, so verstand er die Kunst, seine Flügel zweckmäßig zu bewegen, sobald sie ausgebildet waren. Die Spinne webt ihr Netz, die Biene baut ihre Zelle, die Schwalbe ihr Nest, ohne diese Fertigkeiten gelernt zu haben; sie sind durch Vererbung von ihren Erzeugern auf sie übertragen worden wie die äußere Gestalt und der innere Bau ihres Körpers, die auch ohne Mitwirkung eines Zentralbewußtseins entstanden sind. Wir müssen annehmen, daß in den nervösen Zentralorganen der Tiere eine vererbbare Struktur gegeben ist, in der Reizwirkungen entstehen, die in der Ausübung von Instinkthandlungen sich geltend

machen. Neben den äußern können auch innere Reize im Organismus zur Wirksamkeit gelangen.

Weil in der Stufenleiter des Tierreichs die Ausbildung des Nervensystems und besonders der Zentren, der Ganglien, immer unvollkommener wird und bei den niedersten Tieren zuletzt ganz aufhört, so muß man annehmen, daß auch das Bewußtsein immer unvollkommener wird, daß es zuletzt vielleicht ganz schwindet, und daß lediglich eine nicht zum Bewußtsein gelangende Reizerregung übrig bleibt.

Ein gleiches gilt von den Pflanzen. Auch auf den höchsten Stufen des Gewächsreichs kennen wir keine nervösen Zentralorgane, wenn auch ohne Zweifel in den feinen Plasmaverbindungen der Zellen Bahnen für die Fortleitung von Reizen gegeben sind, wie ja auch die Reflexe im Tierkörper durch Leitungsbahnen vermittelt werden. Gewiß ist das Protoplasma der Pflanzenzellen nicht weniger reizbar als das tierischer Zellen. Wenn aber angenommen wird, daß auch den Pflanzen Empfindung, d. h. ein Bewußtwerden von Reizwirkungen zukomme, so ist dies eine unbeweisbare Hypothese. Vorsichtiger ist es jedenfalls, bei den Pflanzen nicht von Reizempfindung, sondern nur von Reizerregung zu sprechen.

Unter den Pflanzen, die sich nicht nur durch Assimilation anorganischer Stoffe ernähren, sondern auch wenigstens einen Zuschuß von organischer Substanz zum Aufbau ihres Körpers verwenden, gehören die insektenverzehrenden Gewächse. Ihre Blätter sind dem Fange und der Verdauung kleiner Insekten in merkwürdiger Weise angepaßt und zugleich durch eigenartige Reizbarkeit ausgezeichnet. Insektivor sind alle zur Familie der Droseraceen gehörigen Gattungen; hiervon zwei Beispiele. In Torfsümpfen Virginiens wächst die Fliegenfalle (Dionaea muscipula), deren grundständige Blätter (Fig. 42) in zwei Abschnitte zerfallen. Der vordere Abschnitt trägt stachelartige Zähne am Rande und besteht aus zwei um die Mittelrippe als Scharnier gegeneinander beweglichen Hälften. Auf der Mitte jeder Hälfte stehen drei Härchen und zahlreiche kleine Drüsen. Sobald eine Fliege eine der drei Härchen (Fühlborsten) berührt, klappen die Blatthälften wie eine Falle zusammen, die Randzähne greifen wie die Finger einer gefalteten Hand ineinander, so daß das

Tier nicht entrinnen kann. Die Fühlborsten waren reizbar wie die Sinneszellen eines tierischen Sinnesorgans; der Reiz wird durch die Plasmaverbindungen im Zellengewebe bis zur Mittelrippe fortgeleitet, und diese wird durch den Reiz zu einer auf Änderung der Gewebespannung beruhenden Bewegung veranlaßt, die eine gewisse Analogie zur Bewegung eines tierischen Muskels besitzt und das Zusammenklappen der Blatthälften bewirkt. Wir haben es hier also mit einem Berührungsreiz zu tun, wie er auf die Tastkörperchen unserer Fingerspitzen einwirkt, mit der Fortleitung dieses Reizes und mit der Auslösung eines Bewegungsvorgangs durch denselben

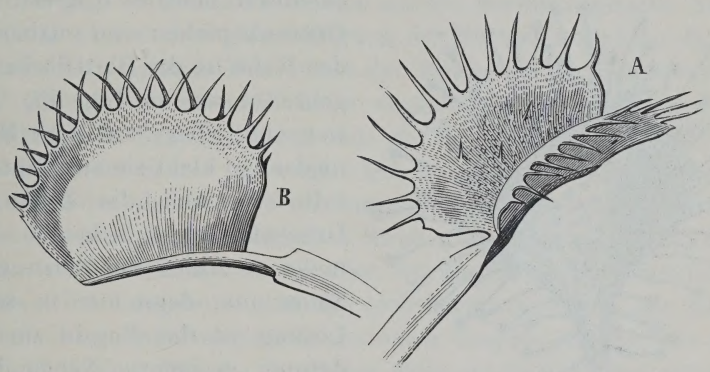

Fig. 42. Blatt der Fliegenfalle (Dionaea muscipula); A geöffnet, B geschlossen.

an anderer Stelle. Obgleich in diese Reizkette kein nervöses Zentrum eingeschaltet ist, können wir sie doch den Reflexvorgängen beim Tierkörper an die Seite stellen. Noch eine zweite, ganz andersartige Reizung macht sich gleichzeitig in den Blättern dieser Pflanze geltend. Die vom Insektenkörper unmittelbar oder mittelbar berührten, vorher trocknen Drüsen der Blattoberfläche beginnen aus Anlaß der Reizung eine Flüssigkeit abzusondern, die wie tierischer Magensaft imstande ist, die Fleischteile des Insekts aufzulösen, zu verdauen. Ist die Verdauung geschehen, so wird die mit verflüssigtem Eiweiß, d. h. mit Peptonen gesättigte Flüssigkeit von eben denselben Drüsen aufgesaugt, die sie erst ausgeschieden hatten, und die gelösten Tierstoffe finden als Nährmaterial in der Pflanze Verwendung. Ist alle Flüssigkeit absorbiert und nur das trockene Chitingerüst des

Insekts übrig geblieben, so falten die Blatthälften sich wieder auseinander, ein Windhauch bläst die Reste des Tierchens hinweg, und das Blatt ist zum Fange einer neuen Fliege bereit. — Der auf unsern einheimischen Mooren häufige Sonnentau (Drosera rotundifolia und longifolia) trägt am Rande der Blätter langgestielte, auf ihrer Mitte ungestielte Drüsenköpfchen, deren gestielte Form auch als Tentakeln bezeichnet wird. Jedes Tentakelköpfchen ist in einen glashellen, klebrigen Schleimtropfen eingehüllt, der das auch im Magen der Tiere vorkommende und zur Verdauung von Eiweiß dienende Ferment oder Enzym, das Pepsin, in Lösung enthält, dabei jedoch chemisch neutral reagiert. Die Drüsenköpfchen sind reizbar. In der Ruhe ist die Blattfläche ausgebreitet wie in Fig. 43. Läßt sich eine Fliege auf dem Blatte nieder, so klebt sie am Tentakelsaft fest, und die Zellen der Drüsenköpfchen scheiden nunmehr aus Anlaß der Reizung eine Säure aus; denn nur in saurer Lösung ist das Pepsin zur Verdauung geeignet. Neben dieser sekretorischen Reizung zeitigt der Berührungsreiz aber auch eine mechanische Wirkung, indem die Tentakeln des Blattrandes sich derartig zum Insekt hin krümmen, daß ihre Köpfchen sich gegen den Insektenkörper stützen; die ganze Blattfläche nimmt an dieser Krümmung teil, so daß das Insekt eingehüllt wird, wobei seine Weichteile der Verdauung unterliegen. Ist diese beendet, so wird die peptonhaltige Verdauungsflüssigkeit von den Tentakelköpfchen vollständig aufgesaugt, die Tentakeln strecken sich wieder gerade, die Blattfläche ebnet sich, und erst nach einigen Tagen hüllen sich die Drüsenköpfchen von neuem in Sekrettropfen, so daß das Blatt wieder zum Insektenfange bereit liegt. Während bei Dionaea das Zusammenklappen der Blatthälften plötzlich geschah, geschieht die Einrollung des Droserablattes

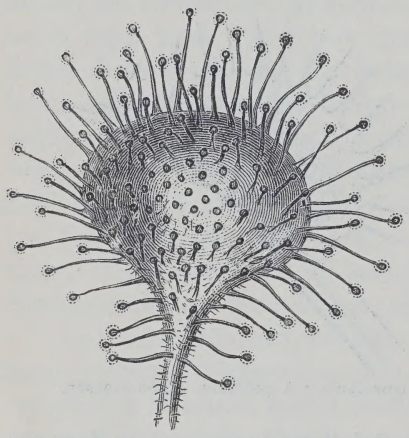

Fig 43. Blattspreite des Sonnentau (Drosera rotundifolia).

nur langsam, weil sie nicht auf einer Spannungsänderung des Zellgewebes, sondern auf einem Wachstumsvorgang beruht, und ebenso erfolgt die Wiederausbreitung des Droserablattes durch einen antagonistischen Wachstumsvorgang. Doch kann das Blatt von Drosera ebenso wie das von Dionaea als ein Reflexmechanismus angesehen werden.

Analog dem Blatte von Drosera verhalten sich die bei Papilionaceen, Cucurbitaceen, bei Passiflora, Cobaea, Vitis usw. vorkommenden Ranken, die morphologisch metamorphosierte Blattteile oder Sproßachsen sind. Gelangen sie mit einer festen, dünnen Stange in Berührung, so krümmen sie sich an der Berührungsstelle bis zu enger, oft mehrfacher Umschlingung der Stütze, wobei der Berührungsreiz ein stärkeres Wachstum der Ranke an der der berührten Stelle gegenüber liegenden Seite veranlaßt. Dadurch wird der rankentragende Sproß, der an sich zur schwach war, aufrecht zu wachsen, an der Stütze befestigt. Die Ranke zeigt an der Stelle der Reizaufnahme, also der Berührungsstelle, ein ähnliches Verhalten wie der Tastsinn der menschlichen Haut. Der Reiz wirkt aber nicht nur an dem Querschnitt der Ranke, wo die Berührung stattfindet, sondern wird fortgeleitet auf die nichtberührten Teile der Ranke zwischen ihrer Anheftungsstelle und ihrer Ursprungsstelle. Es wird auf dieser ganzen Strecke durch den Reiz ein höchst merkwürdiger Wachstumsprozess veranlaßt, indem dieser Abschnitt der Ranke korkzieherartige Windungen annimmt und durch die damit verbundene Verkürzung den Sproß der Pflanze emporhebt: die Pflanze klettert also im wahren Sinne des Wortes wie durch eine Art von Klimmzug. Der korkzieherartig gewundene Teil der Ranke erfährt dann noch eine Verstärkung durch Dickenwachstum, bezw. Verholzung der Gewebe, die dem wachsenden Gewicht des gehaltenen Sprosses entspricht; und da der Korkzieher zugleich federt, vermag die Kletterpflanze im Winde nachzugeben. Beachtenswert ist noch, daß solche Ranken, die keine Stütze erreichen, sich wohl einrollen, aber keine Verdickung erfahren. Dies ganze Verhalten der Ranken kann gleichfalls als Reflexerscheinung angesehen werden, immer vorausgesetzt, daß man den Begriff des Reflexes auch ohne Einschiebung eines Zentralorgans gelten lassen will.

Während die insektenfangenden Organe und die Ranken ein beredtes Beispiel für die Verwertung des Reizes zum Vorteil der Pflanze bilden, ist ein solcher Nutzen bei der merkwürdigen Reizbarkeit der Sinnpflanze (Mimosa pudica) nicht mit gleicher Sicherheit nachweisbar. Dieses durch die ganze Tropenzone verbreitete und bei uns in Warmhäusern vielfach gezogene Gewächs besitzt doppelt gefiederte, für Erschütterung oder Berührung in hohem Grade reizbare Blätter. Im ungereizten Zustande stehen die Blätter aufrecht und flach ausgebreitet. Berührt man eins der Fiederblättchen, so richtet sich dies und das gegenüberstehende Blättchen auf, bis sie zusammenklappen; man sieht dann den Reiz an der Blattspindel entlang laufen und in die Spindeln der übrigen Fiedern einbiegen, indem alle Blättchen sich nach und nach aufrichten. Zugleich läuft der Reiz durch den Hauptblattstiel und veranlaßt diesen, sich und damit das ganze Blatt nach abwärts zu schlagen; als Scharnier dient das Gelenkpolster, d. h. die etwas angeschwollene, in starker Gewebespannung befindliche Basis des Blattstiels, wobei aus den Zellen der unteren Hälfte des Gelenkpolsters Wasser in die Interzellularräume austritt, was eine Erschlaffung des Gewebes und damit die Krümmung der Oberseite des Gelenkpolsters herbeiführt, deren Zellen kein Wasser verlieren. Aber der Reiz läuft auch aus der Blattbasis durch den Stengel zu den übrigen Blättern hin und bewirkt in diesen die gleiche Stellungsänderung, so daß die Pflanze in der Reizstellung ein ganz eigentümliches Aussehen annimmt. Nach Verlauf einiger Zeit kehren die Blätter langsam in die ungereizte Stellung zurück; hierbei saugen die Zellen der unteren Hälfte des Gelenkpolsters das Wasser aus den Interzellularräumen wieder auf, wodurch der Zustand der Gewebespannung, wie er vor der Reizung bestand, wieder hergestellt wird.

Wenn wir aus Anlaß der Berührung teils mechanische, teils chemische Reizwirkungen eintreten sahen, so können auch chemische Vorgänge als Reize in Wirksamkeit treten. Legt man ein mit Fleischextrakt-Lösung gefülltes kapillares Glasrohr in einen Wassertropfen, in dem sich schwimmende Bakterien umhertummeln, so kann man unter dem Mikroskop verfolgen, wie diese einzelligen Organismen in die Röhre eindringen, also durch deren Inhalt an-

gezogen werden; hat man das Röhrchen dagegen mit einer Säure oder mit Alkohol gefüllt, so fliehen die Bakterien vor der austretenden Flüssigkeit. Die Spermien der Farne werden durch ausgeschiedene Apfelsäure, die der Moose durch Rohrzucker in den Hals der Archegonie hineingelockt und gelangen so an das zur Befruchtung bereit liegende Ei. In diesen Fällen spricht man von positiver, bei Abstoßung von negativer Chemotaxis. Die Reizwirkung bei positiver Chemotaxis kommt dadurch zu stande, daß die beweglichen Zellen durch Konzentrations-Unterschiede in der sie berührenden Flüssigkeit genötigt werden, von den Schichten geringerer Konzentration gegen die Schichten größerer Konzentration hin zu schwimmen. Ebenso kann man wahrnehmen, daß die Plasmodien der Schleimpilze von trockneren zu feuchteren Stellen des Substrats hinkriechen, und Pollenschläuche wachsen solchen Orten entgegen, an denen Zucker oder Dextrin in einem Pflanzengewebe gebildet wird.

Bedeutsam sind die Wirkungen der Lichtreize bei Pflanzen. Die frei beweglichen Schwärmsporen von Algen bewegen sich meistens im Wasser gegen Orte einer mittleren Helligkeit, sie fliehen Orte zu geringer und zu heller Beleuchtung; es hängt von den einzelnen Arten ab, welcher Helligkeitsgrad ihnen zusagt. Die Blätter der meisten Pflanzen stellen ihre Spreiten senkrecht gegen das hellste diffuse Tageslicht, wobei die Epidermis der Blattoberseite die Reizaufnahme vermittelt, während der Blattstiel durch geeignete Krümmungen als Bewegungsorgan dient. Bei vielen neuholländischen Bäumen dagegen, z. B. bei Eucalyptus, stellen die Blattspreiten sich vertikal, weil dort ein sehr intensives Licht herrscht, während die Blätter unserer einheimischen Bäume eine Tendenz zur Horizontalstellung besitzen. Das Bedürfnis der Pflanze ist hierbei entscheidend. Man spricht bei der zum Licht senkrechten Einstellung der Blätter von Transversal-Heliotropismus. Positiv heliotropisch nennt man Stengel, die sich bei einseitig stärkerer Beleuchtung gegen die Lichtquelle krümmen, wie es die meisten Pflanzen tun. Negativ heliotropisch sind z. B. die jungen Sprosse des Epheu und anderer Kletterpflanzen; sie krümmen sich von der Lichtseite weg und der Schattenseite zu, wodurch die Epheusprosse

gegen Mauern und Baumstämme gedrückt werden. Positiv heliotropisch sind die Blütenstiele der an Mauern wachsenden Linaria Cymbalaria, so daß die Blüten von der Mauer möglichst weit abstehen; nach dem Blühen krümmen sich diese Stiele negativ heliotropisch, so daß die reifenden Fruchtkapseln in die Ritzen des Mauerwerks hineingeschoben werden. Beides entspricht insofern dem Bedürfnis der Pflanze, als es der Erhaltung der Art zugute kommt.

Während die Reizbarkeit der grünen Blätter für das Licht von der Pflanze für die so wichtige Kohlenstoffassimilation ausgenutzt wird, indem die Blätter eine für Zwecke der Assimilation besonders vorteilhafte Lichtlage annehmen, wirkt auf Wurzeln und Stengel auch die Schwerkraft als Reiz, so daß beide sich an dieser in der Richtung der Lotlinie wirksamen Kraft orientieren. Die Hauptwurzel einer Keimpflanze nennen wir positiv geotropisch, weil sie in Richtung des Erdradius gegen den Erdmittelpunkt hin wächst; der in Verlängerung dieser Wurzel stehende Hauptsproß heißt negativ geotropisch, weil er in Richtung des Erdradius vom Erdmittelpunkt fortwächst. Lenkt man beide, Wurzel oder Sproß, aus ihrer durch den Erdradius bezeichneten stabilen Gleichgewichtslage ab, so kehren sie durch eine Wachstumskrümmung in diese Gleichgewichtslage zurück, um darin zu verharren. Der Schwerkraftsreiz wird durch die Pflanze dahin verwertet, daß der ganze oberirdische Teil dem Licht entgegen in die Luft emporgehoben, das ganze Wurzelsystem in den Erdboden eingesenkt wird. Die Seitensprosse und Seitenwurzeln wachsen, gleichfalls unter dem Einfluß der Schwerkraft, schräg aufwärts und schräg abwärts; dadurch wird die Ausbreitung der Laubkrone und des Wurzelsystems herbeigeführt. Die Seitenwurzeln höherer Ordnung sind gar nicht mehr geotropisch reizbar; sie wachsen in jeder beliebigen Richtung, wodurch eine möglichst vollständige Ausschöpfung der Nährstoffe des Bodens herbeigeführt wird. Wenn man die durch die Schwerkraft bewirkte Beschleunigung dadurch aufhebt, daß man Keimpflanzen auf dem Rande einer schnell rotierenden Scheibe sich entwickeln läßt, so verhält sich die Hauptwurzel genau wie ein Pendel in gleicher Lage, d. h. ihr Vegetationspunkt wächst in Richtung des Radius der Scheibe, deren

Mittelpunkt fliehend, während die Sproßspitze dem Scheibenmittelpunkt zustrebt.

Da im allgemeinen die Geschwindigkeit des Wachstums der Pflanzen durch Wärme gesteigert wird, so können wir auch die Wärme als Reiz auffassen, und selbst die ein Samenkorn durchtränkende Feuchtigkeit kann wenigstens teilweise so gedeutet werden. Neben diesen verschiedenen einfachen Reizen haben wir im Einfluß von Standort und Klima auf die Gestalt der Pflanzen eine zusammengesetzte Reizwirkung zu erblicken, auf die später zurückzukommen sein wird.

Stellen wir nunmehr die Frage, unter welchen allgemeinen Gesichtspunkt alle diese Reizvorgänge im Tier- und Pflanzenreiche zu bringen sind, so lautet darauf die Antwort: Sie sind als Vorgänge der Auslösung und der Hemmung zu deuten, und in dieser Beziehung als mechanische Vorgänge anzusehen. Der Begriff der Auslösung entstand in der Technik und wurde von da in die Tierphysiologie und in die Pflanzenphysiologie übernommen. Eine auf dem Bahnhofe haltende Lokomotive kann durch einen leicht beweglichen Hebel zur Abfahrt veranlaßt werden, indem hierbei ein Sperrhaken in der Maschinerie ausgeklinkt wird: das ist Auslösung. Ein entsprechender Hebeldruck klinkt den Sperrhaken wieder ein, die Maschine wird dadurch in ihrem Laufe gehemmt. Beachtenswert ist, daß die auslösende Kraft außerordentlich klein sein kann im Vergleiche zu der durch die ganze Maschine geleisteten Arbeit, deren Betriebsenergie natürlich einen ganz andern Usrprung hat als der auslösende Fingerdruck. Auslösung ist auch das Abfeuern des Gewehrs, wobei durch den Fingerdruck die chemische Energie des Schießpulvers freigemacht wird, um die Arbeit des fortgeschleuderten Geschoßes zu leisten. Auslösung ist es, wenn die in die Öffnung eines Automaten geworfene Münze die Hergabe einer Tafel Schokolade oder einer Bahnsteigkarte veranlaßt. So hat man sich auch vorzustellen, daß das Licht auf der Netzhaut des Auges oder am heliotropisch reizbaren Blatte auslösend wirkt, und zwar dürfte es sich bei den Organismen überwiegend um chemische Auslösungen handeln, wie bei der Entzündung des Schießpulvers. Die an den Stellen der Reizaufnahme, den Reizpforten, eintretende erste Aus-

lösung kann dann eine Kette weiterer Auslösungen zur Folge haben, wie wir sie bei der Fortleitung von Reizen in den Organismen kennen gelernt haben; damit können wir auch die Reflexe als Auslösung von Reaktionsbewegungen durch den Reiz auffassen. Wenn wir in Tieren und Pflanzen das Protoplasma als den Sitz der Reizbarkeit ansprechen, so ist darin leider ein vorläufiger Verzicht auf die weitere mechanische Analyse des Reizvorgangs ausgedrückt, auch wenn wir die verschiedene Wirkung der einzelnen Reize nach Qualität und Intensität sowie nach ihrem Schwellenwert feststellen können. Die Tatsache, daß die in der Natur zum Vollzug gelangenden Reizwirkungen meistens mit irgend einem biologischen Vorteil für die Pflanze verknüpft sind, ist eine wichtige Eigentümlichkeit der lebendigen Wesen.

Mit der Definition des Reizes als Auslösung oder Hemmung ist zugleich ausgesagt, daß ein Bewußtseinsvorgang mit dem Reiz nicht verbunden zu sein braucht, bei Tieren und Pflanzen so wenig wie bei Bahnsteig-Automaten. Eine unbewußte Empfindung wäre aber ein Widerspruch in sich. Mit Sicherheit ist man nur berechtigt, von einer Erregung des Protoplasma der Pflanzen durch den Reiz zu sprechen. Wir können aber ebensowenig mit Sicherheit behaupten, daß die Pflanze nichts von der Reizen empfinde, auf die sie automatisch antwortet; es wäre denkbar, daß in den einzelnen Zellen ein ähnliches undeutliches Bewußtsein sich geltend machte, wie es bei den Instinkthandlungen der Tiere wenigstens angenommen werden kann. Eine solche Hypothese ist darum verlockend, weil sie das Bewußtsein zu einer allgemeinen Funktion des lebendigen Protoplasma machen würde, und man hat in diesem Sinne auch von einem Zellenbewußtsein gesprochen im Gegensatz zum Zentralbewußtsein der höheren, mit einem Gehirn ausgestatteten Tiere. Man könnte sogar daran denken, daß der Zellkern ein dem Gehirn analoges Zentralorgan der Zelle sei; nur muß man dessen eingedenk bleiben, daß dies Hypothesen sind, während das Vorhandensein des Bewußtseins beim Menschen zu den gewissesten Tatsachen gehört, die es gibt.

Die Reizpforten oder Eintrittsstellen der Reize in den Pflanzenkörper sind zweifellos den Sinnesorganen der Tiere vergleichbar,

da auch diese Eintrittsstellen für Reize sind. Ob es indes zweckmäßig ist, das Wort Sinnesorgan unmittelbar auf die Pflanzen zu übertragen, mag dahingestellt sein. Ein beachtenswerter Unterschied zwischen den Sinnesorganen der höheren Tiere und den reizbaren Stellen des Pflanzenkörpers besteht immerhin darin, daß die Sinnesorgane der Tiere durch Leitungsbahnen mit Nervenzentren in Verbindung stehen und selbst als peripherisch vorgeschobene Fühler oder Ausläufer solcher Zentren angesehen werden können.

Kapitel 9.

Die Anpassungen.

Die Gestalt und der innere Bau von Pflanzen und Tieren enthüllen uns eine Organisation, deren Teile zu harmonischer Einheit zusammenstimmen. Die Gestalt der Lebewesen zeigt daneben Beziehungen zu der sie umgebenden Außenwelt; diese Beziehungen nennen wir Anpassungen, die sie verwirklichenden Organe Anpassungsorgane. Es ist eine allgemeine Regel, daß solche Anpassungen vorteilhaft sind für die Erhaltung des Individuums wie der Art. Sind sie das nicht, so wird das Lebewesen schneller oder langsamer, vielleicht im Laufe zahlreicher Generationen aufhören zu existieren; die Art wird aussterben. Die Gestalt der Tiere und Pflanzen muß ihrer Umgebung, d. h. ihren Lebensbedingungen entsprechen, sonst gehen sie zu Grunde.

Die Vögel, Fledermäuse, Schmetterlinge, Käfer usw. sind durch die Organisation ihres Flugapparats einer Bewegung in der Luft angepaßt; die Fische durch ihre Flossen dem Schwimmen im Wasser. Die vierfüßigen Säuger sind eine Anpassungsform für das Leben auf festem Lande; in den Robben und Walen tritt uns eine Anpassung des Säugetiertypus an das Leben im Wasser entgegen. Die Extremitäten dieser Tiere haben im Zusammenhange damit eine weitgehende Abwandlung erfahren; sie sind teilweise denen der Fische ganz ähnlich geworden. Gerät ein Walfisch auf das Land, so geht er an Hilflosigkeit zu Grunde; auch die Robben können dauernd nicht auf dem Lande leben. Alle Körper der Wirbeltiere bringen in der Organisation ihrer Bewegungsapparate eine Anpassung an den Zwang zum Ausdruck, dem sie in bezug auf den Gewinn ihrer Nahrung unterliegen. Sie müssen anhaltende, oft schnelle Be-

wegungen ausführen, um die Nahrung zu finden und zu erreichen; sie werden in dieser Aufgabe unterstützt durch die Sinnesorgane, von denen das Auge dem Sehen, die Nase dem Riechen, die Mundhöhle dem Schmecken, das Ohr dem Hören, die Haut dem Tasten angepaßt sind. Wo aber Tiere ihr Leben in dunklen Höhlen zubringen, können sie blind sein, obgleich dann vielfach noch verkümmerte Augen vorhanden sind.

Der ganze innere Bau der Wirbeltiere untersteht den Gesetzen der Anpassung. Um atmen zu können, bedarf das Tier der Entwicklung einer großen Körperoberfläche gegen die Luft oder das umgebende Wasser. Eine solche sehr ausgedehnte Oberfläche ist in der Summe der Höhlungen (Alveolen) der Lunge gegeben, bei den Fischen in der Oberfläche der Kiemenplättchen. Um aus dem rohen Speisebrei die für den Körper geeigneten Nährstoffe entnehmen zu können, kehrt das Tier in der Schleimhaut des Darms diesem Speisebrei eine ausgedehnte aufsaugende Fläche entgegen. Damit aber der Tierkörper in seiner Beweglichkeit nicht gehindert werde, muß die Aufsaugung sich im Innern des Körpers vollziehen, in den die Nahrung durch die Mundhöhle eingeführt wird, in der sich auch Vorrichtungen für ihre Zerkleinerung befinden; der Darmkanal selbst ist in der Leibeshöhle dicht zusammengepackt, und die nutzlosen Überreste der verzehrten Speise werden aus dem After wieder ausgestoßen. Das alles sind wichtige ernährungsbiologische Anpassungen.

Auch die Gestalt der Pflanzen zeigt in erster Linie Anpassungen an das Ernährungsgeschäft. Die meisten Pflanzen finden ihre Nahrung überall in der Luft, dem Erdboden oder dem Wasser. Darum können sie der Ortsbewegung und der dafür geeigneten Organe entbehren, und sie können die aufsaugenden Flächen nach außen kehren. Die Blätter, welche der Assimilation von Kohlensäure und der Atmung dienen, sind gewöhnlich papierdünne Platten, die eine möglichst große Oberfläche der Luft gegenüber entwickeln; ähnlich verhält sich die Körperform der im Meerwasser lebenden Algen. Die Wurzeln der Landpflanzen entwickeln dem Erdboden gegenüber große Oberflächen, die der inneren Darmwand des Tierkörpers vergleichbar sind, weil der Boden, darin dem rohen

Speisebrei der Tiere entsprechend, die eigentlichen Nährstoffe nur in geringer Menge enthält. Der Gegensatz im Körperbau der Tiere und der Pflanzen beruht also in der verschiedenartigen Anpassung an abweichende Lebensbedingungen. Auch die Orientierung der verschiedenen Achsensysteme der Laubsprosse und Wurzeln an der Schwerkraft und am Licht, also die geotropische und die heliotropische Stellung der einzelnen Teile, kann angesehen werden als eine Anpassung an die Ernährungsbedingungen der Pflanze. Wenn andersartige Ernährungsverhältnisse Platz greifen, wenn Pflanzen durch Aufnahme organischer Substanz der Ernährungsweise der Tiere sich nähern, hat das sofort abweichende körperliche Organisationen zur Folge. Es sei an die oben beschriebenen insektenfangenden Droseraceen, wie Drosera und Dionaea erinnert (S. 91). Fast noch auffallender sind die gleichfalls dem Verzehren von Insekten angepaßten Kannen an den Blättern der in tropischen Urwäldern wachsenden Gattung Nepenthes. (Fig. 44.) Hier ist die über das eigentliche Blatt verlängerte Mittelrippe zu einem hohlen, vertikalen Schlauche umgebildet, dessen nach oben gekehrte Mündung durch einen horizontal stehenden Deckel gegen das Hineinfallen von Regentropfen geschützt wird. Im Innern des Schlauchs sondern zahlreiche Drüsen eine dem tierischen Magensafte ähnlich zusammengesetzte Flüssigkeit ab, durch welche die stets zahlreich in die Kannen hinein geratenden kleinen Insekten verdaut werden; die gelösten Verdauungsprodukte werden dann von den gleichen Drüsen resorbiert und kommen der Pflanze als Nahrungszuschuß zugute. Nicht weniger merkwürdig sind die zum Fangen von Insekten dienenden Blasen bei einer unserer einheimischen Wasserpflanzen, Utricularia. Utricularia ist eine schwimmende Blütenpflanze aus der Familie der Lentibulariaceen, die in Torfgruben und

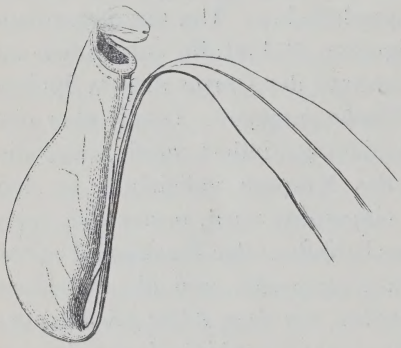

Fig. 44. Kanne an der Blattspitze von Nepenthes phyllamphora.

Teichen vorkommt. Ihre grünen Blätter sind in haarfeine Zipfel zerteilt, und an ihnen sitzen die insektenfangenden Blasen (Fig. 45 A). Sie besitzen eine Öffnung, die von reusenartig stehenden Haargebilden umgeben ist. In Fig. 45 B ist der Durchschnitt einer solchen Blase gezeichnet. Die Öffnung ist von einer durchsichtigen

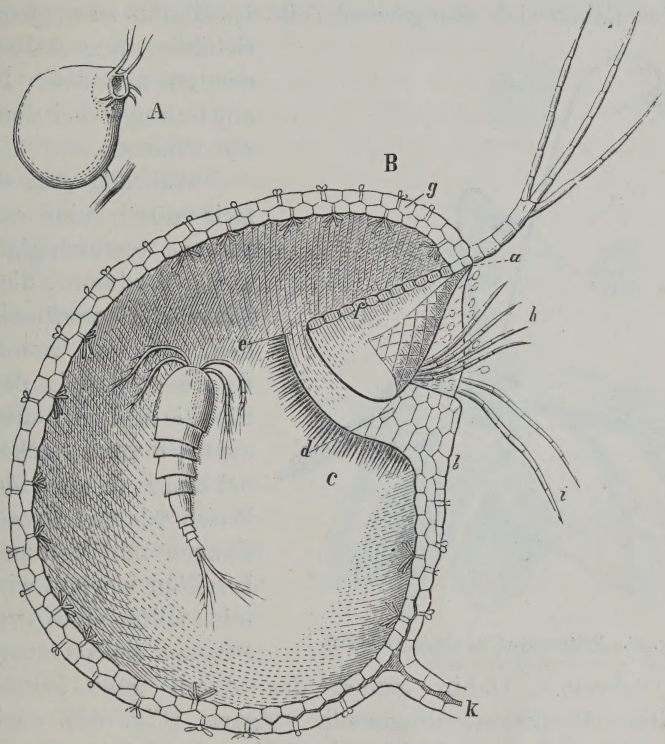

Fig. 45. Insektenfangende Blasen des Wasserschlauchs (Utricularia vulgaris); A Außenansicht, B stärker vergrößerter Durchschnitt mit einem gefangenen Krebschen.

Membran f, die um ihre Ansatzstelle a wie die Klappe einer Mäusefalle beweglich ist, verschlossen. Die in solchen Wasserlöchern in Menge vorhandenen kleinen Krebse (Copepoden) suchen die Blasen als Schlupfwinkel auf, schieben die Klappe mit Leichtigkeit zur Seite, die sich dann sogleich elastisch zurückschlägt und durch ein

Widerlager d gehindert wird, sich nach außen vorzubiegen; das Krebschen ist also gefangen. In der Blase geht es schnell zu Grunde; es wird eine Beute von Fäulnisbakterien, und die dadurch verflüssigte organische Substanz dient der Utricularia als Nahrung, indem die vierspaltigen Haare, welche die Blasenwand von innen auskleiden, als Absorptionsorgane wirken. In diesem Falle wie in dem von Nepentes haben sich also gewisse Teile des Blattes zu magenartigen Gebilden umgestaltet, eine der auffallendsten Sonderanpassungen bei den höheren Pflanzen.

Fig. 46. Fettkraut (Pinguicula vulgaris).

Während bei Utricularia durch eine von der Pflanze unabhängige Bakterien-Verdauung die festen Eiweißstoffe verflüssigt werden, ist von besonderem Interesse, daß in derselben Familie der Lentibulariaceen auch Pflanzen vorkommen, bei denen in ganz ähnlicher Weise wie bei Drosera das Fangen und Verdauen von Insekten bewirkt wird, also mit Hilfe eines von der Pflanze selbst ausgeschiedenen Sekrets. Dahin gehört das durch ganz Deutschland verbreitete Fettkraut, Pinguicula vulgaris (Fig. 46). Die eine grundständige Rosette bildenden Blätter des Pflänzchens tragen auf ihrer Oberfläche teils gestielte, teils ungestielte Drüsen mit vielzelligen Köpfchen (Fig. 47), die eine klebrige Flüssigkeit ausscheiden, in der Pepsin (peptisches Enzym) gelöst ist. Eine auf dem Blatte sich niederlassende Fliege klebt daran fest und veranlaßt durch ihren Reiz, daß das Blatt sich der Länge nach einrollt; zugleich wird das vorher neutrale Sekret sauer und ist nunmehr befähigt, die Weichteile des Insekts zu verdauen. Die verflüssigten

Eiweißstoffe werden durch die Drüsen aufgesaugt, worauf sich das Blatt wieder entrollt. Die Blätter von Pinguicula enthalten außerdem ein Labenzym, durch das Milch zum Gerinnen gebracht werden kann. Während somit in zwei systematisch weit voneinander abstehenden Familien, den Droseraceen und den Lentibulariaceen, insektenverzehrende Pflanzen vorkommen, von denen die Gattungen Drosera und Pinguicula gleichsam nach demselben Schema funktionieren, hat die mit letzterer nahe verwandte Gattung Utricularia einen völlig anderen Mechanismus zum Fangen und Verzehren von Insekten ausgebildet. Also Anpassungen an die gleiche Funktion mit ganz verschiedenen mechanischen und chemischen Mitteln.

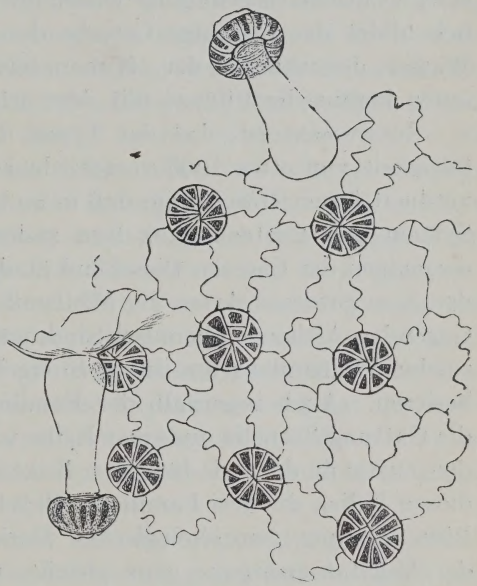

Fig. 47. Gestielte und stiellose Drüsen auf den Oberhautzellen von Pinguicula vulgaris.

Gewächse mit zarten, papierdünnen Blättern können nur unter Himmelsstrichen bestehen, unter denen eine genügende Feuchtigkeit herrscht, weil solche Blätter umsomehr Wasser durch Verdunstung (Transpiration) an die Atmosphäre verlieren, je größer die Oberfläche im Verhältnis zu ihrer Masse ist. In trockenen Klimaten begegnen uns dagegen vielfach Pflanzen mit verkleinerten Blattflächen, oder die Blattflächen schwinden ganz, so daß nur die binsenartigen Stengel mit ihrer chlorophyllhaltigen Rinde assimilieren, wie bei manchen Ginsterarten des Mittelmeergebiets. Solche Sonderanpassung an trockene und dürre Standorte tritt uns am auffälligsten in der Familie der Cacteen entgegen, welche die heißesten und dürrsten Landstriche der Erde bewohnen. Auch bei den Cacteen haben wir keine Laubblätter, sondern der assimilierende Apparat ist auf die

grüne Rinde des Stammes beschränkt. Dieser Stamm der Cacteen zeigt bald eine kuglige, bald eine eiförmige, bald eine säulenförmige oder prismatische Gestalt; er kann auch platt gedrückt sein, wie bei Epiphyllum und Opuntia. In allen diesen Fällen ist die Oberfläche im Vergleich zur Masse des Pflanzenkörpers verringert, besonders bei den mehr oder weniger kugeligen Formen; schon dadurch ist eine Verringerung der Wasserverdunstung herbeigeführt, die durch starke Cuticularisierung der Oberhaut noch unterstützt wird. Endlich bildet das fleischige Gewebe des Stammes einen Speicher für Wasser, der während der oft monatelangen regenlosen Periode von innen heraus die Pflanze mit dem erforderlichen Naß versorgt.

Interessant ist, daß der Typus der Cacteen in einer Mannigfaltigkeit von etwa 1000 verschiedenen Arten sich abwandelt. Es verdient ferner Beachtung, daß in anderen Pflanzenfamilien, die im System den Cacteen ganz fern stehen, Formen vorkommen, die derjenigen der Cacteen täuschend ähnlich werden. Dies gilt besonders von gewissen Arten der Wolfsmilch (Euphorbia), die in dürren Gegenden Afrikas einheimisch sind, während die bei uns wild wachsenden Wolfsmilcharten dünne Stengel mit zarten, flachen Blättern besitzen. Auch innerhalb der Familie der Asclepiadaceen besteht die Gattung Stapelia aus einer Reihe von Arten, die im nichtblühenden Zustande der Laie für einen Kaktus halten würde. Während in diesen Fällen die drei Familien sich scharf unterscheiden durch ihre Blütenbildung (morphologisches Merkmal!), können sie im Bau der Vegetationsorgane ganz gleiche, und zwar höchst auffallende Gestalten annehmen; wir sprechen dann von Übereinstimmung der Anpassungs-Merkmale. Die Annäherung der Gestalt von Robben und Walen an die der Fische ward bereits hervorgehoben; wir haben es hier gleichfalls mit der Übereinstimmung von Anpassungs-Merkmalen zu tun, die unter dem Zwange gleicher äußerer Lebensbedingungen gebildet worden sind.

Übereinstimmende Anpassungen finden wir bei zahlreichen Blütenpflanzen, welche das Vermögen der selbständigen Ernährung durch Assimilation der atmosphärischen Kohlensäure nicht besitzen und dafür eine parasitische oder saprophytische Lebensweise führen. Beispiele solcher Parasiten sind die Schuppenwurz (Lathraea Squamaria) und

die Sommerwurz (Orobanche, verschiedene Arten), beide zur Familie der Orobanchaceen gehörig, ferner die „Seide" (Cuscuta), eine Convolvulacee. Als Beispiele von Saprophyten, die sich vom Humus eines Waldbodens ernähren, nenne ich die zu den Pirolaceen gehörige Monotropa Hypopitys, den Fichtenspargel, sowie aus der Familie der Orchidaceen die Korallenwurz (Corallorhiza innata), den Widerbart (Epiphogon aphyllus) und die Nestwurz (Neottia Nidus avis). Allen diesen Pflanzen ist gemeinsam, daß sie für ihre Ernährung organischer Kohlenstoffverbindungen bedürfen. Da sie die Kohlensäure der Luft nicht assimilieren können, entbehren sie sowohl der Laubblätter wie auch überhaupt des Chlorophyllfarbstoffs, von dem höchstens (bei einigen von ihnen) Spuren vorhanden sind. An Blättern tragen sie außer den Blütenteilen nur schuppenförmige Niederblätter von hellgelber oder bräunlicher Farbe. Sie weichen daher in ihrem Aussehen außerordentlich ab von den übrigen Dicotylen und Monocotylen; wegen des Blütenbaus sind sie in ganz verschiedene Familien einzureihen. Ihre Verschiedenheit beruht auf den morphologischen Merkmalen, die für die Ernährung nicht in Betracht kommen, während die übereinstimmende oder doch ähnliche Lebensweise als gemeinsames Anpassungsmerkmal ihr mehr oder weniger seltsames Aussehen hervorgebracht hat, das wesentlich in den negativen Kennzeichen des Fehlens von Laubblättern und des Chlorophyllmangels besteht.

Wichtige Anpassungen sind die Schutzeinrichtungen verschiedener Art, durch die sich die Lebewesen gegen äußere Unbill zur Wehre setzen. Die Vegetationspunkte des Laubsprosses sind in dichte Blattknospen eingehüllt, die zarten Zellen des Vegetationspunktes der Wurzel sind von der derben Wurzelhaube bedeckt; das für das Dickenwachstum der Baumstämme so wichtige Cambium genießt den Schutz der Rinde und Borke. Der starke Geruch und der vielen Tieren widerwärtige Geschmack mancher Pflanzen, ferner in ihnen vorkommende Giftstoffe sind geeignet, die Tiere vom Verzehren solcher Gewächse abzuschrecken. In den Geweben vieler Pflanzen werden feine Nadeln aus oxalsaurem Kalk gebildet, die den so gern Pflanzenblätter fressenden Schnecken verderblich werden und ihnen daher den Besuch der durch solche Anpassungsmittel

geschützten Pflanzen verleiden. Auch die Dornen, Stacheln und Brennborsten gelten als Waffen zur Verteidigung der Pflanzen gegen Tierfraß. Bei der Pechnelke finden sich am Stengel Ringe eines klebrigen Stoffes, der wenigstens ungeflügelte Insekten hindert, zu den Blüten hinauf zu gelangen.

Die Tiere besitzen vielfach Färbungen, die sie von der Unterlage, auf der sie sitzen, schwer unterscheidbar machen; dies gilt namentlich von Schmetterlingen und von Fischen, aber auch Säugetiere und Vögel zeigen ein gleiches, wobei nur an das Schneehuhn, das Hermelin und den Alpenhasen erinnert sein mag. Diese Tiere wechseln ihr Kleid mit der Jahreszeit; im Winter sind sie weiß, im Sommer von bräunlicher, dem Erdboden ähnlicher Färbung. Bei Fischen kann solche Änderung der Farbe, die der Farbe des Bodens entspricht, auf dem sie liegen, sich in ganz kurzen Zeiträumen vollziehen.

Auch die Erscheinung der besonders bei Insekten auftretenden sogenannten Mimikry gehört hierher, die darin besteht, daß die Gestalt an sich ganz harmloser Tiere solchen Tieren mehr oder weniger ähnlich wird, die für ihre Feinde ungenießbar oder durch Beiß- und Stechwerkzeuge gefährlich sind.

Die bemerkenswertesten Anpassungen der Pflanzen finden sich im Bereich der Blütenbildung. Hier haben wir zunächst die großen Gegensätze der Pflanzen mit stäubendem Pollen und mit klebrigem Pollen. Der stäubende Pollen besteht aus trockenen Körnchen, die leicht durch den Wind in der Luft verbreitet werden, z. B. bei den Nadelhölzern, den Gräsern, dem Haselstrauch, der Eiche, der Buche, der Brennessel. Die Arten mit klebrigem Pollen sind zugleich durch bunte Blumenkronen und durch Honigabsonderung ausgezeichnet und sind dadurch Anpassungen an Insektenhilfe beim Geschäft der Bestäubung; weil der Pollen zusammenklebt, kann er sich nicht durch die Luft verbreiten, sondern muß durch Insekten, an deren Körper er haftet, auf die Narben übertragen werden. Die Insekten nehmen die aus dem Grün der Laubblätter sich abhebenden farbigen Blumenkronen wahr und wissen instinktiv, daß sie ihnen den Weg zu den Quellen des Honigs zeigen. Beim Aufsaugen des letzteren wird ihr Körper zum Werkzeuge der Bestäubung, so daß

die Blumen den Insekten, die Insekten den Blumen einen wesentlichen Nutzen gewähren. Wir haben es also zu tun mit einer wechselweisen Anpassung von Tieren und Pflanzen aneinander, ohne die weder die Blumen noch die Insekten existenzfähig sein würden. Die Anpassung geht indes noch weiter. Die Organisation der meisten Blumen ist eine solche, daß auch bei Insektenbesuch die Selbstbestäubung innerhalb einer Blume vermieden und die Fremdbestäubung zwischen verschiedenen Blumen, womöglich zwischen verschiedenen Pflanzenstöcken herbeigeführt wird. Wir können geradezu behaupten, daß die Blumen der meisten Pflanzen ganz eigenartige Anpassungsapparate sind zur Ausführung einer Fremdbestäubung durch Vermittlung der den Honig aufsuchenden Insekten. Bei der Schlüsselblume z. B. (Primula officinalis und elatior), bei der die trichterförmige Blumenkrone in eine lange Röhre und einen glockenförmigen Saum sich gliedert, gibt es eine langgriffelige und eine kurzgriffelige Form. Bei der ersteren befindet sich die Narbe in der Nähe des Schlundes der Blumenkrone, die Antheren sind der Mitte der Blumenkronenröhre eingefügt; bei der zweiten Form stehen die Antheren am Schlunde, die Narbe befindet sich im mittleren Teil der Röhre. Wenn eine Biene zuerst eine kurzgriffelige Blume besucht, so dringt sie in deren Röhre ein, und während sie am Grunde den Honig aufsaugt, schlägt sie mit den Hinterbeinen den Pollen aus den hoch eingefügten Antheren hinaus, wobei er an ihren Beinen hängen bleibt. Besucht das Insekt dann eine langgriffelige Form, so dringt es wieder in die Blume hinein und bürstet jetzt mit den Kopfhaaren den Pollen aus den der Mitte der Röhre eingefügten Antheren, während es den an den Hinterbeinen aufgesammelten Pollen an der langgriffeligen Narbe abstreift. Wird endlich wieder eine kurzgriffelige Form besucht, so wird der mit dem Kopfe aus der langgriffeligen Blüte aufgenommene Pollen auf die tiefstehende Narbe übertragen. Dies Beispiel muß statt vieler genügen.

Auch die vielerlei Flugapparate an Früchten und Samen der Pflanze sind Anpassungseinrichtungen für deren Ausbreitung durch den Wind. Diese Flugapparate bestehen hauptsächlich in haut-

artigen Rändern und in Haarschöpfen; während sie bei der Ulme, der Esche, dem Ahorn, den Compositen aus der Fruchthülle hervorwachsen, entstehen sie bei der Bignonie, beim Weidenröschen, bei den Weiden und Pappeln aus der Samenschale. Die Früchte des Löwenzahns fliegen mittels ihres Haarschopfes so leicht durch die Luft wie die Samen des Weidenröschens; Organe von verschiedenem morphologischem Werte haben also Anpassungsformen von gleicher Wirksamkeit hervorgebracht.

Bei der Ausstreuung der Pflanzensamen kommt in Betracht, daß in jedem Samenkorn soviel organische Substanz als Reservematerial abgelagert ist, daß bei der Keimung die junge Pflanze ihre ersten Wurzeln, Blätter und Stengel aus ihr zu bilden vermag, so daß sie nach Erschöpfung dieses noch dem elterlichen Organismusentstammenden Materials imstande ist, sich durch Assimilation anorganischer Nährstoffe selbständig weiter zu ernähren.

Gleiche Bedeutung haben Dotter und Eiweiß in den Eiern der Vögel. Während der Bebrütung wächst und entwickelt sich der Keim des jungen Tieres auf Kosten des darin gegebenen Nährmaterials. Ganz anders sind die für Ernährung der jungen Säugetiere geltenden Anpassungs-Einrichtungen. Vor der Geburt wird das Junge durch einen dem Mutterleibe entstammenden Blutstrom ernährt. Gegen die Zeit der Geburt hin füllen sich die Milchdrüsen der Mutter mit Milch, die vom neugeborenen Tierchen instinktiv aufgesaugt wird. Das junge Tier bedarf aber zu seinem fortschreitenden Wachstum einer fortwährend sich ändernden chemischen Zusammensetzung der Milch, und tatsächlich ist die Milch gleich nach der Geburt chemisch anders zusammengesetzt als nach einem und nach mehreren Monaten. Bis zu diesen feinsten Einzelheiten in der chemischen Beschaffenheit eines Sekrets geht die Fürsorge in der Anpassung des mütterlichen Organismus im Interesse der Entwicklung der Nachkommen und damit der Erhaltung der Art. Die Brutpflege, wie sie bei den verschiedensten Tieren, namentlich Vögeln, beobachtet wird, gehört ebenfalls in diese Reihe der Anpassung des elterlichen Organismus an das Gedeihen der Nachkommen.

Einen Vorgang der Anpassung, wie er in der sich ändernden Zusammensetzung der Muttermilch sich zeigt, kann man auch einen

Vorgang der Selbstregulation nennen. Solche Selbstregulierungen spielen eine wichtige Rolle im Lebenshaushalte der Organismen. Wenn uns z. B. ein Krümchen in die Luftröhre geraten ist, so tritt ein selbstregulatorischer Hustenreiz ein, durch den es wieder daraus entfernt wird. Wenn wir uns mit dem Messer eine Hautwunde beibringen, so wird diese zu einem selbstregulatorischen Wachstumsreiz, durch den die an die Wundfläche angrenzenden Gewebe zu Wachstumsvorgängen veranlaßt werden, die sonst nicht eingetreten wären, und die einen Verschluß der Wunde unter teilweiser Erneuerung des Gewebes herbeiführen. In ganz ähnlicher Weise zeigen sich die Pflanzen Verwundungen gegenüber angepaßt. Sogar zur selbstregulatorischen Wiederherstellung ganzer Organe kann es bei Tieren und Pflanzen kommen. Wird einem Wasser-Salamander ein Fuß abgeschnitten, so wächst aus dem Stumpf ein neuer Fuß hervor; wird aus dem Auge des gleichen Tieres die Linse entfernt, so kann sich aus dem der Wunde benachbarten Gewebe eine neue Linse entwickeln. Daß Verstümmelung bei Pflanzen die Neubildung von Organen in selbstregulatorischer Anpassung hervorruft, zeigt jeder Steckling. Schneiden wir von einem Weidenbaume einen Zweig ab und stecken ihn mit dem unteren Teile in die Erde, so entstehen Wurzeln an der Wundfläche, ein Bildungsvorgang, der unterblieben wäre, wenn man das Reis im Zusammenhang mit dem Baume gelassen hätte.

Die weitgehende Anpassungsfähigkeit der Organismen, die uns in all' diesen Beispielen entgegen tritt, kann selbst als eine Anpassung an ihre allgemeinen Lebensbedingungen angesehen werden. Solche Anpassungen können als sofortige Reaktion auf einen Reiz eintreten, wie bei der Verwundung. Die Anpassungen erfordern aber für ihr Zustandekommen in anderen Fällen zweifellos die Einwirkung äußerer Umstände durch eine mehr oder weniger lange Reihe von Generationen hindurch. Es hat den Anschein, daß Pflanzen und Tiere die Fähigkeit besitzen, ihre Eigenschaften einer langsamen und allmählichen Veränderung der äußeren Lebensbedingungen Schritt für Schritt anzupassen. Nur auf solche Weise können wir Pflanzentypen, wie z. B. die kaktusähnlichen, fleischigen, blattlosen Euphorbien als Anpassungen deuten an ein Klima, in

dem die bei uns wild wachsenden Euphorbien nicht gedeihen würden. Wir werden auf diesen Gesichtspunkt später zurückzukommen haben. Hier sei nur noch einmal die wichtige Tatsache hervorgehoben, daß die Organismen innerhalb gewisser Grenzen auf ihre Umgebung, d. h. auf die von ihr ausgehenden Einflüsse, so zu reagieren vermögen, wie es ihren Bedürfnissen entspricht. Aber auch innere Bedürfnisse können zum Anreiz für ihre Erfüllung werden, auch das ist Anpassung. So ist das Auge als Ganzes ein der Wahrnehmung äußerer Gegenstände angepaßtes Organ; es wäre unwirksam ohne die zwischen seinen Teilen, der Hornhaut, Linse, Iris, Netzhaut usw., bestehenden inneren Anpassungen. Die Entwicklung eines höheren Tiers oder einer höheren Pflanze aus der Keimzelle ist ein verwickelter Werdegang solcher inneren Anpassung der Teile aneinander, die zur harmonischen Organisation des fertigen Lebewesens hinführt.

Kapitel 10.

Die Mannigfaltigkeit der Organismen.

Für unser Wissen vom Leben ist von größter Bedeutung, daß das Leben sich nicht in der Gestalt eines einzigen Typus manifestiert, sondern daß etwa eine halbe Million verschiedener Arten von Pflanzen und Tieren an der Erdoberfläche vorkommen dürften. Der Begriff der Art ist schwierig zu definieren; am besten erfaßt man ihn durch Anschauung: Süßkirsche, Sauerkirsche, Pflaume, Aprikose, Schlehe, — Hauskatze, Löwe, Tiger, Jaguar, Panther sind Arten einer Gattung. Eine Unbequemlichkeit ist darin gegeben, daß die verschiedenen Zoologen und Botaniker durch ihre subjektive Auffassung verleitet werden, den Umfang einer Art bald weiter, bald enger zu ziehen.

Durch die Klassifikation werden die Arten nach dem anschaulichen Zusammenhange ihrer Merkmale geordnet; eine solche Zusammenstellung nennt man ein System. Eine Übereinstimmung oder Ähnlichkeit der Merkmale begründet den Begriff der ideellen naturgeschichtlichen Verwandtschaft. Man ordnet danach die Arten, die sich aus den Einzelwesen oder Individuen zusammensetzen, in Gattungen, die Gattungen in Familien, die Familien in Ordnungen, die Ordnungen in Klassen, die Klassen in Reiche. Auch die Klassen des Tier- oder Pflanzenreichs werden nach ihrer Ähnlichkeit zusammengestellt, und zwar in der Weise zu einer Reihe, daß die einfachst gebauten Typen an den Anfang, die am kompliziertesten gebauten an das Ende der Reihe zu stehen kommen. Man spricht von unvollkommneren und vollkommneren, von niederen und höheren Typen, und der wichtige Begriff der Organisationshöhe wird in erster Linie bestimmt nach der geringeren oder größeren Zahl von Merk-

malen, die ein Typus besitzt. Danach wird z. B. das ganze Tierreich eingeteilt in Protozoen, d. h. einzellige, und in Metazoen, d. h. mehrzellige Tiere, deren Zellen in mehreren Schichten angeordnet sind. Bei den Pflanzen ist eine solche Einteilung nicht durchführbar, weil es einzellige Pflanzen von verhältnismäßig hoher Organisationsstufe gibt, neben mehrzelligen und vielzelligen, die in anderer Hinsicht weit unvollkommener organisiert sind.

Die Unterscheidung zwischen Pflanzenreich und Tierreich ist eine künstliche. Darum hat man auch zu verschiedenen Zeiten gewisse Gruppen von Organismen bald zu den Tieren, bald zu den Pflanzen gestellt. Auch heute beruht die Abgrenzung beider großer Reiche auf einem mehr oder weniger willkürlichen Übereinkommen zwischen Zoologen und Botanikern. Während in bezug auf die höheren Tiere und höheren Pflanzen Meinungsverschiedenheiten nie bestanden haben, machten sie sich bei den niederen, insbesondere bei den einzelligen Typen, umso mehr geltend. In der Gegenwart pflegt man zum Pflanzenreiche alle die niederen Organismen zu stellen, welche assimilierende Farbträger und Farbstoffe in ihren Zellen besitzen. Man darf indes nicht umgekehrt verfahren und alle Organismen, die der Farbträger entbehren, und darum nicht anorganische Substanz in organische umwandeln können, zu den Tieren stellen; denn es gibt ja schon unter den blütentragenden Gewächsen eine ganze Reihe farbloser Gattungen und Arten, die genötigt sind, wie die Tiere sich von organischer Speise zu ernähren. Die große Klasse der Pilze ist in der gleichen Lage; und doch werden die Pilze allgemein zu den Pflanzen gerechnet. Ein durchgreifender Unterschied zwischen Tier und Pflanze ist auch darin nicht zu sehen, daß die Membran der Pflanzenzellen aus Cellulose besteht. Auch die Zellmembranen im Mantel der Tunicaten, einer verhältnismäßig hoch organisierten Tiergruppe, bestehen aus Cellulose, während die Membranen der Pilzzellen abweichend von den übrigen Pflanzenzellen aus Chitin gebildet sind, einem Stoff, der im Tierreiche die größte Verbreitung besitzt, da alle festen Skeletteile der Gliedertiere aus Chitin aufgebaut sind.

Im allgemeinen kann man sagen, daß Tierreich und Pflanzenreich sich einander umso mehr nähern, je unvollkommener die Typen

sind, und daß hier, bei den niedersten Pflanzen und den niedersten Tieren, die Grenze konventionell gezogen wird. Man hat diesem Umstande dadurch auszuweichen gesucht, daß man ein drittes Reich zu bilden vorschlug, das die niederen Pflanzen und die niederen Tiere umfaßte, und dem man den Namen des Protistenreichs gab. Allein anstatt die Schwierigkeiten dadurch aufzuheben, hat man sie verdoppelt. Es war nunmehr nicht eine künstliche Grenzlinie zu ziehen, sondern deren zwei, eine zwischen Protisten und Pflanzen, die andere zwischen Protisten und Tieren.

Es ist einleuchtend, daß Tiere und Pflanzen nicht scharf voneinander zu scheiden sind, weil die fundamentalen Lebensvorgänge bei allen Organismen im wesentlichen miteinander übereinstimmen. Wohl bietet die Naturgeschichte der Lebewesen in den höheren Typen viel Eigenartiges dar; doch werden sie gerade durch die niederen Typen einheitlich miteinander verknüpft.

Innerhalb der einzelnen Klassen des Pflanzenreichs findet man neben großen Gegensätzen zahlreiche Lebenserscheinungen, durch die sie mehr oder weniger eng miteinander verbunden werden. Die unvollkommenste Klasse ist die der Spaltpflanzen, die ihren Namen daher haben, daß sie sich nur durch Zellteilung vermehren, ohne jede Andeutung einer geschlechtlichen Fortpflanzung. Dazu kommt, daß die Spaltpflanzen einen einfacheren Zellenbau besitzen als die übrigen Organismen. Zwar sind ihre Zellen stets von einer Membran umkleidet, allein es fehlt ihnen ein scharf vom Protoplasma sich abhebender Zellkern. Wenn auch neuerdings in den höheren Typen der Spaltpflanzen zellkernähnliche Gebilde wahrgenommen wurden, so fehlen sie doch in anderen gänzlich, z. B. in der aus einer Zellreihe bestehenden Beggiatoa mirabilis, die im Meerwasser der deutschen Küsten vorkommt. (Vergl. Fig. 12, S. 18.) Im Protoplasma der Zellen dieser Beggiatoa finden sich nur zerstreute Chromatinkörnchen, die nicht zu einem Zellkern vereinigt sind. Man glaubte eine Zeitlang, daß auch gewisse einzellige Tiere keinen Zellkern besäßen, und nannte diese Organismen Moneren. Gründlichere Untersuchungen haben indes gezeigt, daß bei ihnen der Zellkern nur übersehen wurde, und man hat die Moneren daher fallen lassen. Dagegen gibt es Protozoen, in denen statt eines größeren Zellkerns mehrere

sehr kleine Kerne vorkommen, und ebenso gibt es zahlreiche niedere Pflanzen, die viele Kerne in einer Zelle enthalten.

Die Spaltpflanzen zerfallen in Spaltalgen mit assimilierendem Farbstoff und in Spaltpilze oder Bakterien, denen solcher Farbstoff gewöhnlich fehlt. Da aber bei einer Bakteriengruppe, den Purpur-Bakterien, auch assimilierender Farbstoff vorkommt, und da andere Bakterien, die Nitro-Bakterien, bei völliger Farblosigkeit organische Substanz aus anorganischer aufbauen können, so ergibt sich, daß Spaltalgen und Spaltpilze in physiologischer Hinsicht mit fließenden Grenzen ineinander übergehen.

Die großen Klassen der echten Algen und der echten Pilze sind schon durch die Chitin-Membranen der letzteren schärfer voneinander geschieden. Beide umfassen eine ungeheure Mannigfaltigkeit der Gestalten. Bei den Algen haben wir neben solchen mit grünem Assimilationsfarbstoff (Chlorophyll) auch solche mit rotem Farbstoff (Rhodophyll) und mit braunem Farbstoff (Phaeophyll). Namentlich die letzteren, die Braunalgen, sind von einer schier unermeßlichen Mannigfaltigkeit der Gestalt und Größe. Mit Rücksicht auf den braunen Assimilationsfarbstoff gehören hierher auch die kleinen, meist einzelligen Diatomeen, deren Zellwände aus zwei Schalen gebildet werden, in denen die Cellulose mit Kieselsäure verbunden ist, so daß nach dem Verbrennen oder Ausglühen feste Kieselpanzer zurückbleiben. Zu den echten Braunalgen gehören die riesigen Laminariaceen mit weitgehender anatomischer Sonderung der Gewebe, unter denen einige im Stillen Ozean wachsende Gattungen (Macrocystis, Nereocystis, Lessonia) zu den größten Gewächsen zu rechnen sind, die es überhaupt gibt. Diese riesigen Laminariaceen pflanzen sich nur durch ungeschlechtliche Schwärmsporen fort; Sexualität kommt bei ihnen nicht vor. Endlich gehören zu den Braunalgen die gleichfalls ansehnlichen Fucaceen, die sich l e d i g l i c h geschlechtlich fortpflanzen, und zwar durch große, kugelrunde Eier und sehr kleine Spermien, die beide an die bei höheren Tieren vorkommenden Geschlechtszellen erinnern. (Vergl. Fig. 26 u. 27, S. 65).

Bei den Pilzen ist gleichfalls die Mannigfaltigkeit der Typen eine außerordentlich große. Hier haben wir ausgesprochene ge-

schlechtliche Fortpflanzung gerade bei kleinen unscheinbaren Gattungen, während die großen, teilweise eßbaren, teilweise aber auch giftigen Schwämme unserer Wälder und Fluren sich auf ungeschlechtliche Weise vermehren. Wegen ihres Mangels an Chlorophyll oder ähnlich wirksamen Farbstoffen müssen die Pilze sich entweder parasitisch von den Säften anderer lebender Pflanzen oder lebender Tiere ernähren, oder saprophytisch von den Zersetzungsprodukten abgestorbener Organismen leben.

Ganz eigenartig ist die Klasse der Flechten oder Lichenen, die als Krusten, als laub- oder strauchartige Gebilde auf Baumrinden, an Felsen oder auf dem Erdboden wachsen. Jede Flechte ist ein kombinierter Organismus, der sich aus Algenzellen und aus Pilzfäden zusammensetzt, wobei erstere von letzteren umsponnen werden. Die eingeschlossenen Algenzellen funktionieren für den Gesamtorganismus der Flechte gerade so wie die grünen Zellen bei anderen Pflanzen, indem sie aus Kohlensäure und Wasser Zucker bilden, so daß die Flechten gleich den Algen aus anorganischer organische Substanz aufbauen können. Damit steht im Zusammenhang, daß die Gestalt des Flechtenkörpers mit der Gestalt der verschiedenen Algentypen übereinstimmt; denn auch die Algen assimilieren Kohlensäure aus ihrer Umgebung und bilden daher Körper von großer Oberflächenentwicklung.

Während bei Pilzen gar nicht, bei Algen und Flechten nur selten eine Sonderung in Stengel und Blatt vorkommt, ist diese typisch, d. h. ganz vorwiegend bei den Moosen, den Farnen und den Blütenpflanzen, die man darum auch als die höheren Gewächse den niederen Klassen gegenüberzustellen pflegt. Die Moose besitzen mancherlei Ähnlichkeit mit den Farnen; unter den Farnen finden sich Übergangsformen zu den niederen Blütenpflanzen, den Gymnospermen, und namentlich in den Fortpflanzungserscheinungen zeigen diese drei Klassen der höheren Pflanzen eine deutliche Zusammengehörigkeit. Allerdings ist der anatomische Bau der Moose ein weit einfacherer, mehr an die Algen erinnernder; namentlich fehlen ihnen Leitbündel und echte Wurzeln. Die höhern Blütenpflanzen oder Angiospermen stimmen durch die Bildung von Pollenschläuchen bei der Befruchtung, besonders aber durch den Bau der Samen-

knospen und der daraus hervorgehenden reifen Samen mit den Gymnospermen überein; sie unterscheiden sich hauptsächlich durch den Fruchtknoten und durch die Verhältnisse im Innern des Embryosacks, endlich durch Bildung einer Blumenkrone, die aber nicht allgemein bei ihnen vorkommt.

Unter den niedersten, den einzelligen Tieren oder Protozoen möge hier der Rhizopoden und der Infusorien gedacht werden; die ersteren sind durch feine Protoplasma-Fortsätze, die Pseudopodien, ausgezeichnet, die ausgestülpt und eingezogen werden können, während die Infusorien von einer festeren Haut umgeben sind, aus der zahlreiche Schwimmborsten, die Cilien, hervorragen, und in der besondere Öffnungen für die Aufnahme von Nahrung und die Abgabe von Stoffen vorhanden sind. Zu den Rhizopoden gehören die Ordnungen der Radiolarien und der Foraminiferen. Die Radiolarien besitzen ein eigentümliches, gitterförmiges Skelett, das sich in mehreren Lagen entwickeln kann und nach außen stabförmige Fortsätze vorschiebt. Diese Skelette bestehen wie die Zellwände der Diatomeen meistens aus Kieselsäure, so daß sie der Fäulnis widerstehen und ungemein haltbar sind. Bei den Foraminiferen ist der Protoplasmaleib durch einkammerige oder vielkammerige Schalen geschützt, die an Schneckenhäuser erinnern und gewöhnlich aus kohlensaurem Kalk gebildet werden; auch ihre Schalen sind daher sehr haltbar. Sie können sich ebenso wie die der Radiolarien in großer Menge auf dem Boden des Meeres absetzen.

Bei den vielzelligen Metazoen sind die Stämme der Coelenteraten, der Stachelhäuter, der Würmer, der Mollusken, der Gliedertiere und der Wirbeltiere zu unterscheiden. Zu den Coelenteraten gehören die Schwämme, die Quallen, die Polypen und Korallen; zu den Stachelhäutern die Seesterne, die Seeigel, die Seewalzen und die Haarsterne. Die Würmer sind von besonders großer Mannigfaltigkeit, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann; neuerdings werden auch die Manteltiere (Tunicaten), die Moostiere (Bryozoen) und die Armfüßer (Brachiopoden) zu ihnen gerechnet. Die Mollusken oder Weichtiere umfassen die kopflosen Muscheln, die Schnecken und die Cephalopoden oder Tintenfische. Unter den Gliedertieren sind die Krebse, die Tausendfüßer, die Insekten und

die Spinnen zu unterscheiden. Bei den Wirbeltieren endlich, die durch das Vorhandensein der Wirbelsäule ausgezeichnet sind, treten die Klassen der Fische, der Amphibien, der Reptilien, der Vögel und der Säugetiere in großer Mannigfaltigkeit der Formen auf. Als unvollkommenstes Wirbeltier gilt der Amphioxus lanceolatus, der, früher allgemein zu den Fischen gerechnet, neuerdings auch als Typus einer besonderen Klasse, nämlich der schädellosen Wirbeltiere oder Akranier, betrachtet wird.

Der Stamm der Wirbeltiere ist als die höchste Stufenleiter des ganzen Tierreichs aufzufassen, welche vom Amphioxus bis zum Menschen hinaufführt, der nach der Organisation seines Körpers zu den Säugetieren zu rechnen ist und unter diesen die oberste Stufe einnimmt.

Von der außerordentlichen Mannigfaltigkeit, die innerhalb eines Typus der Lebewesen herrschen kann, erhält man eine Vorstellung, wenn man bedenkt, daß in der Pflanzenfamilie der Compositen mehr als 10 000, in der der Orchideen gegen 8000 Arten unterschieden worden sind. In diesem Falle handelt es sich um verhältnismäßig reichgegliederte Pflanzenkörper mit zahlreichen Merkmalen, so daß sich eine Unterscheidung nach lediglich morphologischen Kennzeichen durchführen läßt. Es ist aber von Interesse, daß auch bei den auf der Stufenleiter des Lebens am tiefsten stehenden Typen, wie dem der Bakterien, sich überaus zahlreiche Arten feststellen lassen. Da es in diesem Falle zur Unterscheidung an morphologischen Kennzeichen gebricht, müssen Merkmale anderer Art, nämlich physiologische, zur Unterscheidung herangezogen werden.

Gerade die Bakterien sind in biologischer Hinsicht so interessant, daß bei ihrer Betrachtung noch etwas länger verweilt werden möge.

Zu den Bakterien gehören die kleinsten Lebewesen, die es gibt. Manche von ihnen stehen an der Grenze des mikroskopisch Erkennbaren. An einem Körper, dessen Durchmesser kleiner als ein Tausendstel Millimeter ist, lassen sich mit unsern besten Mikroskopen Teile kaum noch unterscheiden. Es gibt aber sicher noch kleinere Bakterien, denen man nichtsdestoweniger den Wert von

Zellen zuerkennt. Ihr Nachweis gelingt vielfach nur durch Färbung, indem gewisse Farbstoffe von ihrem Protoplasma aufgespeichert werden, so daß solche Bakterien unter dem Mikroskop als farbige Pünktchen erscheinen in einer Umgebung, die den Farbstoff nicht festhält. Überwiegend sind die Bakterien frei lebende Einzelzellen; seltener sind sie zu Zellreihen miteinander verbunden. Die Einzelzellen sind entweder Kugeln (Kokken) oder Stäbchen (Bazillen), oder mehr oder weniger eiförmige Mittelformen zwischen beiden. Wir haben Grund zu der Annahme, daß diese so einfachen Gestalten in vielen Hunderten von Arten vorkommen; das Mikroskop muß also versagen, wenn man diese Arten nur nach ihrer Form unterscheiden will. Den Untersuchungen darüber kommt aber der Umstand begünstigend entgegen, daß viele Bakterien sich physiologisch ganz eigenartig verhalten. Einige charakteristische Beispiele mögen dies erläutern. So gibt es Bakterien, die, abweichend von allen übrigen Lebewesen, befähigt sind, anorganische Stoffe als Material für ihre Atmungs-Oxydation zu verwenden: es sind dies die schon erwähnten Schwefel-Bakterien, Eisen-Bakterien und Nitro-Bakterien. Die Nitro-Bakterien sind die merkwürdigsten von allen Bakterien, denn sie besitzen neben ihrem Oxydationsvermögen auch die Fähigkeit, obgleich farblos, die Kohlensäure der Luft zu assimilieren, ohne daß Licht dazu nötig wäre wie bei grünen Pflanzen. Sie finden sich sowohl im Erdboden wie im Wasser verbreitet. Die eine Gattung derselben, Nitrosomonas, verbrennt Ammoniak zu salpetriger Säure (Fig. 48a); die andere, Nitrobacter, verbrennt letztere weiter zu Salpetersäure (Fig. 48b). Sehr interessant und wichtig für den Haushalt der Natur sind die Stickstoff-Bakterien. Während die höheren Pflanzen den Stickstoff, den sie zur Eiweißbildung brauchen, nur Stickstoff*verbindungen*, wie der Salpetersäure, entnehmen können, assimilieren die Stickstoff-Bakterien den *freien* Stickstoff der atmosphärischen Luft und

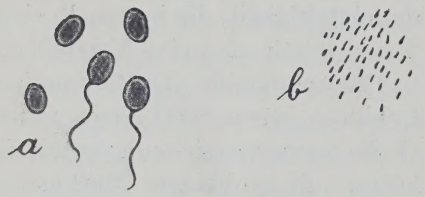

Fig. 48. Nitrobakterien:
a. Nitrosomonas, b. Nitrobacter.

bilden Eiweiß daraus. Azotobacter chroococcum (Fig. 49) und Clostridium Pasteurianum (Fig. 50) sind unter ihnen die wichtigsten. Einige von ihnen leben im Innern der Gewebe von Blütenpflanzen, so in den Wurzeln von Leguminosen, und geben von ihren Stickstoff-Assimilaten an diese ab, wodurch sie zur Ernährung ihrer Wirtpflanzen beitragen. Durch solche Bakterien wird auch die Ackererde mit Stickstoffverbindungen bereichert, so daß ein Feld durch die Bebauung mit Leguminosen zugleich eine Art von Stickstoffdüngung erfährt. In organischen Lösungen können Bakterien die mannigfaltigsten Gärungen erzeugen, z. B. Essigsäure-Gärung, Milchsäure-Gärung,

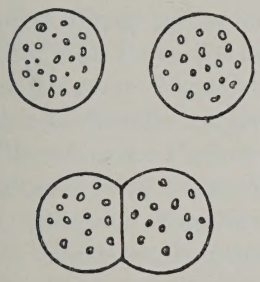

Fig. 49. Azotobacter chroococcum; oben zwei Einzelzellen, darunter eine Zelle in Teilung. Ein Zellkern ist nirgends erkennbar.

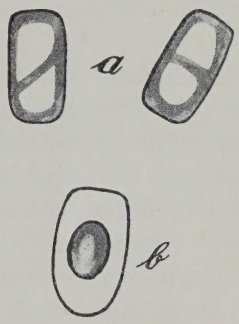

Fig. 50. Clostridium Pasteurianum; a. zwei vegetative Zellen, b. eine Zelle mit Sporenbildung.

Buttersäure-Gärung; die alkoholische Gärung wird allerdings nicht durch Bakterien, sondern durch Hefe bewirkt, die zu den echten Pilzen gehört. Auch die Fäulnis, der alle Pflanzen- und Tierkörper nach dem Tode erliegen, ist ein verwickelter Gärungsvorgang. Unter Gärung verstehen wir die Spaltung einer komplizierten Kohlenstoffverbindung in einfachere unter dem Einfluß lebender Zellen. So wird durch Fäulnis-Bakterien das Eiweiß eines tierischen Kadavers zersetzt, und als letzte Zersetzungsprodukte entstehen hierbei Kohlensäure, Wasser, Ammoniak und Schwefelwasserstoff. Dadurch üben die Fäulnis-Bakterien eine wichtige Funktion aus im Haushalte der Natur. Ohne ihren Einfluß hätten sich die Reste der Pflanzen und

Tiere seit Anfang ihres Bestehens an der Erdoberfläche zu ungeheuren Schichten torfartiger Massen anhäufen müssen; statt dessen sind sie in Wasser und Luftarten zerlegt worden, und nur die harten Reste einiger haben sich als sogenannte Versteinerungen erhalten, die für unsere Kenntnis ausgestorbener Tier- und Pflanzengeschlechter bedeutsam sind.

Kapitel 11.

Der Körper der höheren Tiere.

Seine höchste Ausprägung erreicht das körperliche System der Lebewesen in den Wirbeltieren, unter denen hier auf die Säugetiere besonders Bezug genommen werden soll.

Die Teile ihres Körpers gruppieren sich um eine Längsachse, die im frühesten Jugendstadium von einem zelligen Gewebestrang, der Chorda dorsalis, eingenommen wird. Die Chorda erhält sich bei unvollkommneren Fischen (Neunaugen) zeitlebens; bei den übrigen Wirbeltieren wird sie im Verlauf der Entwicklung durch eine knorpelige oder aus Knochen bestehende Wirbelsäule ersetzt. An die vordersten Knochen der Wirbelsäule reiht sich der blasenförmig aufgetriebene Schädel. Mit der Wirbelsäule stehen die übrigen Teile des festen Knochengerüstes in Verbindung, besonders die der beiden Extremitätenpaare und die Rippen. Die das innere Skelett der Wirbeltiere bildenden Knochen sind mannigfaltige Gebilde, die teils aus Knorpel, teils aus Bindegewebe hervorgehen. In die organische Grundmasse ihrer Substanz ist viel Kalk eingelagert, den man durch Säuren ausziehen kann, wobei die Grundsubstanz zurückbleibt. Zu äußerst ist die Knochensubstanz dicht und fest gefügt, dann folgt eine schwammig-poröse Masse, im Innern die vom Knochenmark erfüllte Höhle. Die poröse Substanz stellt sich bei genauerer Untersuchung als ein System feiner, bogenförmig verlaufender Platten dar, die einander rechtwinklig schneiden. Ihre Anordnung ist eine solche, daß bei möglichst geringem Aufwand von Material ein hoher Grad von Festigkeit und zugleich von Leichtigkeit erzielt wird. Schon in der Röhrenform haben wir eine biegungsfeste Konstruktion bei geringstem Materialaufwand zu erblicken. Dabei

wird auch der Hohlraum der Knochen für den Organismus nutzbringend verwendet. Bei den Vögeln dient er zur Aufnahme der Luftsäcke, die das Körpergewicht beim Fliegen verringern. Das bei den Säugetieren die Röhre erfüllende Knochenmark ist von Wichtigkeit für die Erzeugung der Blutkörperchen, die außerdem noch in einem besonderen Organ, der Milz, gebildet werden. In den Gelenken sind die Knochen durch elastische Bänder miteinander verbunden, die auch den Ansatz der Muskeln an die Knochen vermitteln. Je nach dem Bedarf des Körpers sind die Formen der Gelenke verschieden, in denen sich ein Paar Knochenendigungen gegeneinander bewegen. Die Reibung der Gelenkflächen wird durch eine in besonderen Behältern gebildete Flüssigkeit verringert. In anderen Fällen sind verschiedene Knochen fest miteinander verwachsen, so das Brustbein mit den Rippen, die Teile der Schädelkapsel, die mit gezähnten Nähten ineinander greifen.

In einem die Glieder der Wirbelsäule durchsetzenden Kanale liegt das Rückenmark, das im Schädel zum Kleinhirn und Großhirn anschwillt. Auf der Bauchseite der Wirbelsäule befindet sich die Leibeshöhle mit den inneren Organen oder Eingeweiden. Der äußere Abschluß des Körpers wird durch die Haut gebildet, der die Sinnesorgane eingefügt sind. Die Haut ist bei den Säugern gewöhnlich mit Haaren besetzt, die in seltenen Fällen zu Stacheln oder Schuppen werden. Ein Schuppenkleid bildet bei den Fischen und Reptilien die Regel, ein Federkleid bei den Vögeln; die größeren Federn (Schwungfedern der Flügel und Schwanzfedern) sind wichtige Apparate zum Fliegen. Die Haut der Amphibien ist nackt.

Unter den Eingeweiden kommt dem Darmkanal als Apparat der Ernährung hervorragende Bedeutung zu. Die vegetabilische oder animalische Nahrung wird in seine Einführöffnung, die Mundhöhle, gebracht und hier durch die Zähne zerkleinert. In der Mundhöhle finden sich Speicheldrüsen, deren Sekret sich der zerkleinerten Speise beimengt und für die Verdauung der Kohlenhydrate von Wichtigkeit ist, da es ein die Stärke in Zucker verwandelndes Enzym enthält. Durch die Speiseröhre gelangt der Brei in die als Magen bezeichnete Anschwellung des Darmes, in der zahlreiche Drüsen ein peptonisierendes Enzym sowie freie Salzsäure absondern, durch deren

Zusammenwirken die Eiweißverdauung ihren Anfang nimmt. Am hinteren Magenende beginnt der Dünndarm, in den die Ausführungsgänge zweier großer Drüsen, der Leber und der Bauchspeicheldrüse (Pancreas), münden. In letzterer wird ein zweites eiweißverdauendes Enzym, das Trypsin, bereitet, das ohne Hinzutritt von Säure wirkt. Den Abschluß des Kanals bildet der Dickdarm.

Der mehr und mehr in Verdauung, d. h. in Verflüssigung geratende Speisebrei wird vom Magen aus durch die Darmmuskulatur fortbewegt und passiert hierbei überaus zahlreiche Vorsprünge, die man als Darmzotten bezeichnet, und deren Gesamtheit eine große Oberflächenentwicklung darstellt. Diese Darmzotten saugen aus dem Speisebrei die brauchbaren Nährstoffe auf; sie verhalten sich ersterem gegenüber wie die Wurzeloberfläche der Pflanzen gegenüber dem Erdboden.

Im Innern der Zotten findet sich ein System von Hohlräumen, die man Chylusgefäße nennt, und in denen sich ein weißlicher Saft befindet, den die aus dem Speisebrei absorbierten Nährstoffe bilden. Die weiße Farbe der Chylusflüssigkeit wird durch Fetttröpfchen und durch nackte, darin schwimmende Zellen, die Lymphkörperchen oder Leucocyten, hervorgerufen. Aus den Chylusgefäßen führen die Lymphgefäße zu den Blutgefäßen hinüber; das in ihnen befindliche Blut enthält außer Leucocyten die durch Hämoglobin gefärbten roten Blutkörperchen, denen es seine Farbe verdankt. Das durch die Herzmuskeln in Zirkulation versetzte Blut führt die assimilierten Nährstoffe den verschiedenen Zellgeweben des Körpers zu und zirkuliert zugleich durch die Atmungsorgane, in denen sich die roten Blutkörper mit Sauerstoff sättigen, um ihn an die Gewebezellen abzugeben. Die in der Brusthöhle gelegenen Lungen sind als Anhängsel des Darmkanals aufzufassen. Die Lungen enthalten sehr zahlreiche, lufterfüllte Bläschen oder Alveolen; diese Lungenbläschen münden in verzweigte Luftkanäle und letztere in die Bronchien, die durch die Luftröhre mit der Mundhöhle in Verbindung stehen. Der Atmungsvorgang kommt dadurch zustande, daß durch Ausdehnung der Lunge Luft eingeatmet, durch Zusammendrückung Luft ausgeatmet wird. Der eingeatmete Sauerstoff diffundiert durch die Wände der arteriellen Kapillaren und vereinigt sich mit den roten

Blutkörperchen, die ihn zum Schauplatz der physiologischen Verbrennung, den Gewebezellen, hinführen. Mit Kohlensäure beladen kehrt das venöse Blut zu den Lungenbläschen zurück, wo die Kohlensäure ausgeschieden wird, um mit der Exspirationsluft zu entweichen. Bei den Fischen dienen die aus zarten, von Kapillarnetzen durchströmten Plättchen der Kiemen als Atmungsapparat; hier wird der Sauerstoff durch das arterielle Blut dem Wasser entnommen und vom venösen Blut die entsprechende Kohlensäure an das Wasser abgegeben. Die Kiemen der Fische entwickeln sich aus eigentümlichen Furchen der Embryonen, den sogenannten Schlundspalten, die auch an den Embryonen der übrigen Wirbeltierklassen vorkommen, bei diesen aber zu ganz anderen Organen des Kopfes auswachsen; bei den Säugetieren z. B. wird eine derselben zum Gehörgang.

Die aus der Lunge entweichende Luft wird benutzt, um das Stimmorgan der Vögel und Säugetiere ertönen zu lassen. Wenn der nach Art einer Zungenpfeife gebaute Kehlkopf von der Luft durchströmt wird, werden darin die beiden elastisch gespannten Stimmbänder in Schwingungen versetzt, wobei durch willkürliche Veränderung der Stimmritze und der Größe des Kehlkopfs Töne verschiedener Höhe entstehen. Bei den Vögeln ist ein doppelter Kehlkopf vorhanden; die Stimmbänder liegen im unteren Kehlkopf.

Die bei den Abbauvorgängen im Säugetierkörper entstehenden Zersetzungsprodukte des Eiweiß, Harnstoff und Harnsäure, werden durch zwei große, kompliziert gebaute Drüsen, die Nieren, ausgeschieden und verlassen den Körper, so daß der Stoffwechsel dieser Tiere von einem ständigen bedeutenden Verlust an Stickstoff begleitet wird. Im Gegensatz zu den Pflanzen bedürfen daher die Tiere einer erheblich größeren Zufuhr von Stickstoffverbindungen in der Nahrung als jene.

Die Individuen der Wirbeltierarten sind getrennten Geschlechts. In den Geschlechtsdrüsen der Weibchen werden unbewegliche Eizellen, in denen der Männchen bewegliche Spermien gebildet. Indem die der Hauptmasse nach aus einem männlichen Zellkern bestehende Spermie sich mit dem Eikern vereinigt, ist auch hier wie bei den Pflanzen die Befruchtung vollzogen. Alsbald beginnt

das befruchtete Ei sich in zwei, vier, acht und mehr Zellen zu teilen, wodurch ein vielzelliger, sich bald in verschiedene Zellschichten differenzierender Keim oder Embryo entsteht. Bei den Fischen, Amphibien, Reptilien und Vögeln werden die Eier vor oder nach Beginn der Furchung vom Muttertier abgelegt, und die Entwicklung des Keims vollzieht sich im Wasser, oder bei den Eiern der Reptilien und Vögel innerhalb der zum Schutz des Keims dienenden Eischale. Dem Ei sind Reservestoffe beigegeben, aus denen das junge Tier seinen Körper aufbaut, und die man Dotter nennt. Erst wenn der junge Vogel den ganzen Dotter aufgezehrt hat und in allen seinen Teilen soweit fertig geworden ist, daß er mehr oder weniger selbständig weiter leben kann, durchbricht er von innen her die Eischale und gelangt ins Freie. Bei den Säugetieren vollzieht sich die Entwicklung der Jungen in der Leibeshöhle der Mutter, durch deren Blut sie ernährt werden, und erst nach Erreichung einer weit vorgeschrittenen Entwicklungsstufe verlassen sie im Vorgange der Geburt den mütterlichen Leib. Von großem Interesse ist, daß vor der Geburt der Jungen sich in den Brustdrüsen der Mutter Milch bildet, eine an Eiweiß, Kohlenhydraten und Fett reiche, aber auch verschiedene Salze enthaltende Flüssigkeit, die nach der Geburt von den Jungen aufgesaugt wird und ihnen die erste Nahrung liefert. Daß während der Periode der Säugung die abgesonderte Milch fortgesetzt chemische Veränderungen erfährt, die den sich steigernden ernährungsphysiologischen Anforderungen der heranwachsenden Jungen angemessen sind, wurde schon erwähnt. (S. 110.)

Bei den Fischen und Waltieren sind die der Bewegung dienenden Gliedmaßen als Flossen ausgestaltet; die Vögel besitzen ein Paar Beine und ein Paar Flügel, die Amphibien, die meisten Reptilien und Säugetiere zwei Paare Beine. Bei den Schlangen fehlen die Extremitäten ganz, und die gleitende Bewegung des Körpers wird lediglich durch die Muskulatur des Rumpfes hervorgebracht. Den verschiedenartig ausgestalteten Extremitäten liegen eigenartige Knochensysteme zugrunde, die durch Muskeln bewegt werden.

Die Muskulatur besteht in einem eigentümlich umgewandelten Zellengewebe, das sich aus Strängen und Schichten von Fasern zusammensetzt. Man unterscheidet glatte und quergestreifte Muskel-

fasern, die beide durch Zusammenziehung und Ausdehnung (Kontraktilität) Bewegungen des körperlichen Systems veranlassen, an dem sie haften. Glatte Muskelfasern sind im allgemeinen dort vorhanden, wo die Bewegungen der Willkür entzogen sind, z. B. in der Wand des Darmrohrs. Wo willkürliche Bewegung einsetzt, gelangen quergestreifte Muskelfasern zur Ausbildung. Die glatten Muskelfasern entsprechen je einer Zelle und besitzen einen Zellkern; eine quergestreifte Muskelfaser ist das Erzeugnis einer Reihe embryonaler Zellen, so daß in ihnen anfänglich auch eine Reihe von Kernen gefunden wird. Nach ihrer vollen Ausbildung zeigen die quergestreiften Muskelfasern einen ganz eigenartigen Bau. Eine Muskelfaser ist von einer zarten Scheide, dem Sarcolemm, umgeben und spaltet sich der Länge nach in ein Bündel feinster Fibrillen. Die einzelne Fibrille zeigt abwechselnd hellere und dunklere Querschichten. (Vgl. Fig. 41 S. 87.)

Nicht weniger eigenartig als das Muskelgewebe ist das Nervengewebe der Wirbeltiere, das in ein zentrales und ein peripherisches System zerlegt werden kann. Das zentrale System zerfällt in Gehirn und Rückenmark; von beiden zweigen die Nervenfasern sich ab, um teils zu den Sinnesorganen, teils zu den Muskeln zu verlaufen und an deren Fasern sich anzusetzen. Im ersteren Falle dienen die Nervenfasern der Zuleitung der Reize zu den Zentren, wo die Empfindung stattfindet; im zweiten Falle übertragen sie von den Zentren aus einen Erregungsreiz auf die Muskeln, den diese durch eine Zusammenziehung oder eine Ausdehnung beantworten. Auf solche Weise wird die Bewegung der Muskeln zu einer automatisch reflektorischen oder zu einer willkürlich beabsichtigten.

Die Reflexbewegungen der Wirbeltiere gehen hauptsächlich vom Rückenmark, die willkürlichen vom Großhirn aus, dessen Rinde als Sitz der Bewußtseinsvorgänge zu gelten hat.

In der Struktur des Gehirns und Rückenmarks treten hauptsächlich die Ganglienzellen hervor, ansehnliche, protoplasmareiche, einkernige Zellen, deren Körper in mehr oder weniger verzweigte Fortsätze ausstrahlt. (Vgl. Fig. 40 S. 87.) Einige dieser Fortsätze verlängern sich zu den peripheren Nervenfasern. Eine solche Nervenfaser ist gewöhnlich von einer dünnen Membran, der Schwann-

schen Scheide, umgeben, der Zwischenraum zwischen dieser und der eigentlichen Faser, dem Achsenzylinder, von dem fettreichen Nervenmark erfüllt. Die Primitivfasern lagern sich in den eigentlichen Nerven zu dünneren oder dickeren Strängen aneinander.

Die Sinnesorgane und ihr Zusammenhang mit dem Nervensystem wurden bereits besprochen (S. 87). Ein kurzer Ausblick möge noch dem Gehirn gelten, das in zwei Hauptabschnitte, das Großhirn und das unter demselben gelegene, durch das verlängerte Mark mit dem Rückenmark verbundene Kleinhirn zerfällt. Beide Hirne spalten sich durch Längsfurchen in zwei Hälften, die am Großhirn als Hemisphären bezeichnet werden. Die Großhirn-Hemisphären überwiegen an Ausdehnung immer mehr, je höher die Tiere, insbesondere die Säugetiere, auf der allgemeinen Stufenleiter der Organisation stehen. Bei den Affen und beim Menschen überwölben sie die übrigen Teile des Gehirns. Dabei erfährt die Großhirnrinde eine bedeutende Steigerung ihrer Oberfläche noch dadurch, daß sie tiefe Einfaltungen zeigt, die man Windungen nennt. Die Großhirnrinde besteht aus sogenannter grauer Hirnsubstanz, die aus zahlreichen Ganglienzellen aufgebaut ist, zwischen denen sich ein Flechtwerk feinster Nervenfasern findet. In der Großhirnrinde haben sich bestimmte Stellen als Lokalisationen der Wahrnehmung verschiedener Sinnesorgane nachweisen lassen; beim Menschen ist auch eine solche Stelle als Sitz des Sprachvermögens erkannt worden. Daß auch das Bewußtsein von der normalen Beschaffenheit des Gehirns abhängt, ist nicht zu bezweifeln. Verletzungen desselben oder Betäubung durch Chloroform, Äther usw. führen eine Ausschaltung des Bewußtseins herbei. Auch bei traumlosem Schlafe verfallen wir in Bewußtlosigkeit, die in gesetzmäßiger Ruhe der Gehirnfunktion ihren Grund haben dürfte, während die Träume durch Erregungszustände im Gehirn eines Schläfers hervorgerufen zu werden scheinen. Ein tieferer Einblick in die Struktur der Gehirnzellen und in ihre Verrichtungen sowie in die Abhängigkeit der psychischen Vorgänge von ihnen ist bis jetzt nicht erreicht worden. Hervorgehoben mag noch sein, daß die meisten körperlichen Funktionen der Säugetiere mehr oder weniger durch das Nervensystem beeinflußt werden.

Diese Aufzählung konnte nur die wichtigsten Organe im Körper der höheren Wirbeltiere flüchtig berühren; auf die übrigen höheren Tiergruppen, die Stachelhäuter, die Weichtiere, die Würmer und die Gliederfüßer kann nicht näher eingegangen werden. Nur darauf mag noch hingewiesen sein, daß auch in diesen Tiergruppen Sinnesorgane, Nervenfasern und Nervenzentren vorkommen, daß quergestreifte Muskelfasern ihre Bewegungen vermitteln, daß ein Darmkanal mit Mundöffnung und After den Körper durchzieht. Die Atmung erinnert bei einem Teil der Gliederfüßer an die Organisation der Pflanzen, während bei den im Wasser lebenden Krebsen sowie bei manchen Weichtieren Kiemenatmung besteht.

Die höheren Tiere und insbesondere die Wirbeltiere, unter denen wiederum in erster Linie immer an die Säugetiere gedacht werden möge, zeigen in Gestalt und Organisation einen gewaltigen Abstand von derjenigen der Blütenpflanzen, wie denn Pflanzen und Tiere einander umso unähnlicher werden, auf je höherer Organisationsstufe sie stehen. Obwohl alle fundamentalen Lebenserscheinungen bei sämtlichen Organismen im wesentlichen die gleichen sind und schon im Haushalte der einzelnen Zellen sich geltend machen, so ist die Eigenart der Säugetiere bezw. Wirbeltiere durch die ungeheure Komplikation ihres Körpers bestimmt. Wie überaus verwickelt ist nicht schon der Bau der einzelnen wichtigen Organe, wie Auge und Ohr, Gehirn und Muskulatur, Darmkanal, Nieren usw. Schon innerhalb dieser Einzelorgane bedarf es einer bewundernswürdigen Abstimmung und Harmonie in der Ausbildung der einzelnen Bestandteile, um ihr erfolgreiches Zusammenwirken zu ermöglichen. Der Einklang der sämtlichen Organe miteinander erfordert eine weitere, höhere Harmonie und eine so straffe Zentralisierung, daß dagegen die Leitung eines tausendköpfigen Orchesters durch einen Dirigenten als ein Kinderspiel erscheint. Und um bei dem Gleichnisse zu bleiben: ein solcher Dirigent ist im Tierkörper nicht zu finden. Wenn wir die Großhirnrinde als den Sitz des Bewußtseins auffassen, wenn von ihr Willensakte ausgehen, die dem Tier z. B. für den Gewinn seiner Nahrung nützlich sind, so vollzieht sich gerade die Entwicklung des Körpers ganz außerhalb der Sphäre des Bewußtseins; der bewußte Wille hat nicht den leisesten Einfluß darauf. Dennoch baut

sich jedes Teilchen, man möchte sagen, mit mathematischer Sicherheit an dem Punkte auf, an den es gehört, und die geringste Abweichung von dieser Regel führt zu Mißbildungen, die nur ausnahmsweise auftreten und dann verderblich werden können.

Sehen wir einmal von den psychischen Funktionen ab, so können wir den höheren Tierkörper (wie den Körper der Organismen überhaupt) auffassen als ein höchst kompliziert gebautes materielles System, wie auch eine Maschine oder eine Fabrik materielle Systeme sind. Dies Gesamtsystem setzt sich aus zahlreichen Teilsystemen zusammen, den Sinnesorganen, den Verdauungsorganen usw., und jedes einzelne dieser Teilsysteme, z. B. das Auge, ist aus noch einfacheren materiellen Systemen aufgebaut. Zwischen allen diesen Teilen bestehen Beziehungen, die nicht nur in den Verrichtungen des fertigen Körpers zum Ausdruck gelangen, sondern bereits in den unsichtbaren Anlagen der Keimzellen ihren Ursprung nehmen und durch die Entwicklung einer harmonischen Einheitlichkeit entgegengeführt werden. In dieser Einheit ist die Gestalt, in den Teilen deren Form das Wesentliche, während die Stoffe, aus denen das Protoplasma der Körperteile sich zusammensetzt, nur als Baumaterial in Betracht kommen, freilich als ein Material, das für den Aufbau der Lebewesen ebenso wichtige Eigenschaften besitzt, wie z. B. Stahl und Messing für den Aufbau einer Maschine.

Die Maschinen sind für Verrichtungen besonderer Art konstruiert. Dem Betriebe der Maschinen gemeinsam ist die Notwendigkeit, daß sie von außen her Energie als Betriebskraft zugeführt erhalten; auch darin gleichen sie den Lebewesen. Die besondere Eigenart aber, durch welche die eine Maschine z. B. Stahlfedern, die andere ein Gewebe erzeugt, die dritte einen Lastwagen schleppt, ist abhängig von ihrer besonderen Struktur, der Form und dem Ineinandergreifen der Teile. Diese Besonderheiten der Maschinen, von denen ihre Leistungen abhängen, nennt man die spezifischen Maschinenbedingungen. In analoger Weise wurde schon früher (vgl. S. 44) beim Körper der Organismen von Systembedingungen gesprochen. So treten in den Leistungen der Zähne, der Knochen und Muskeln mechanische Systembedingungen zutage; in

der Atmung, der Verdauung, der Ausscheidung zeigt sich die Wirksamkeit chemischer Systembedingungen, die den Systembedingungen einer chemischen Fabrik verglichen werden können. Wie in der Maschine alles ins Stocken gerät, wenn die Maschinenbedingungen nicht genau zusammenstimmen, so auch im Organismus, sobald dessen Systembedingungen an einer wichtigen Stelle versagen. Auf diesem einträchtigen Zusammenwirken aller Systembedingungen, sowohl der im Protoplasma der Einzelzellen gegebenen wie in denen der Gewebe und der Organe, beruht das Leben. Eine schwere Störung der Systembedingungen, mag dieselbe ihre Struktur betreffen, oder als Hemmung ihrer Verrichtungen sich geltend machen, führt den Tod des Lebewesens herbei. Das Leben tritt uns in seiner ganzen Eigenart entgegen gerade durch sein Aufhören im Tode. Ein Leichnam ist etwas ganz anderes als ein lebendiges Tier; er ist vergleichbar einer Maschine, die eine durch keine Reparatur auszugleichende Beschädigung erlitten hat. Ein wesentlicher Unterschied eines Organismus von den Maschinen besteht aber darin, daß ersterer leichte Beschädigungen (Verwundungen) durch eigene Tätigkeit aus sich selbst heraus wieder auszugleichen vermag. Ein zweiter fundamentaler Unterschied der Lebewesen von den Maschinen besteht in ihrer Entwicklung, die eine ganz andere Art des Aufbaus darstellt, als er bei den von Menschenhand gefertigten Maschinen vorkommt. Ein dritter Unterschied ist die selbsttätige Vermehrung der Organismen in der Fortpflanzung, welche bei Maschinen unmöglich ist. In der Entwicklung und in der Fortpflanzung gibt sich ein Spiel von Kräften zu erkennen, die ihrem Wesen nach unbekannt sind, und von denen es dahingestellt bleiben mag, ob es der Wissenschaft der Zukunft einmal gelingen wird, sie als besondere Systembedingungen zu erweisen, oder als Kräfte eigener Art zu klassifizieren, die von den Systembedingungen wesentlich verschieden sind, indem sie die letzteren als Ursachen hervorbringen. Da wir zur Zeit diese gestaltenden Kräfte nur unvollkommen zu erkennen vermögen, so habe ich dafür das Wort D o m i n a n t e n nur als Ausdruck für einen provisorischen Begriff verwendet.

Kapitel 12.

Pilze und Bakterien als Krankheitserreger.

Pflanzen und Tiere können erkranken. Krankheiten sind abnorme physiologische Vorgänge, die durch sehr verschiedene Ursachen hervorgerufen sein können. Ansteckende Krankheiten, bezw. Epidemien beruhen auf der Einwanderung kleiner, fremder Organismen in gesunde Körper. Solche Krankheitserreger können verschiedenen Gruppen des Tier- und Pflanzenreichs angehören. So beruht z. B. die Trichinen-Krankheit darauf, daß ein mit der Speise in das Darmrohr gelangter, mikroskopisch kleiner Wurm bis in die Muskeln des Körpers eindringt und hier schmerzhafte Zerstörungen hervorruft. Die Krankheiten der höheren Pflanzen, insbesondere der Kulturgewächse, werden meistens durch parasitische Pilze, die Infektionskrankheiten der Tiere und des Menschen überwiegend durch Spaltpilze oder Bakterien bewirkt.

Eine der wichtigsten Pflanzenkrankheiten wird als Rost bezeichnet. Die verschiedensten Gewächse können vom Rost befallen werden, und hierbei sind gleichfalls verschiedene Arten von Parasiten tätig, die sämtlich zur Familie der Rostpilze oder Uredineen gehören. Ein bemerkenswertes Beispiel ist der Grasrost (Puccinia graminis). Das aus feinen Fäden bestehende Mycelium dieses Pilzes durchwuchert im Frühjahr das Zellgewebe der Blätter und jungen Halme des Roggens, Hafers, der Gerste und anderer Gräser. Darauf brechen Rasen kurzer Pilzfäden an der Oberfläche des Pflanzenkörpers hervor, und jeder dieser Fäden schnürt an seiner Spitze eine rötlich-gelbe, einzellige Spore ab, die, durch den Wind auf gesunde Pflanzen übertragen, an deren Oberfläche zu einem feinen Faden auskeimt, der durch eine Spaltöffnung in das Innere der

Pflanze eindringt und sie infiziert. Dadurch wird die Krankheit epidemisch über ein ganzes Kornfeld verbreitet. Indem der Pilz seinem Wirt Nährstoffe entzieht, wird letzterer geschwächt und der Ertrag der Ernte mehr oder weniger erheblich beeinträchtigt. Jene einzelligen gelben Sporen nennt man die Sommersporen des Pilzes. (Fig. 51 5. U). Gegen die Zeit der Ernte hin wachsen aus denselben Pilzrasen, in denen die Sommersporen reiften, zweizellige Sporen von schwärzlicher Farbe, die Wintersporen oder Teleutosporen, hervor (Fig. 51 5. T), die mit ihrem Stiel abbrechen und auf den Ackerboden gelangen. Hier keimen sie erst nach längerer Zeit, gewöhnlich im Frühling des kommenden Jahres. Die Keimung besteht darin, daß feine Fäden aus den Wintersporen hervorbrechen und an ihrer Spitze sekundäre, farblose, einzellige Sporen abschnüren, die man Sporidien nennt. (Fig. 51 1. Sp.) Die Sporidien können ihrerseits nur keimen, wenn sie durch den Wind auf das Blatt einer Berberitze gelangen; auf Getreide- und anderen Grasblättern keimen sie nicht. Das Berberitzenblatt wird dann infiziert (Fig. 51 2. Sp.) durch das Eindringen der aus den Sporidien hervorwachsenden Pilzfäden, und diese bilden an der Unterseite des Blattes hervorbrechende Pusteln, deren Hülle

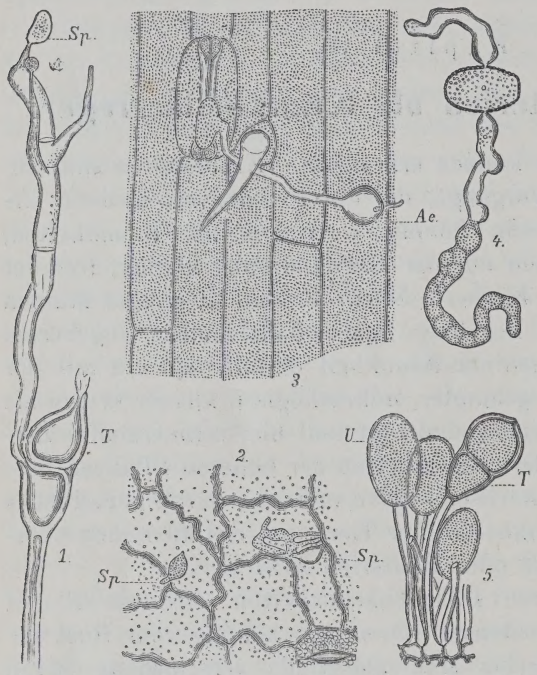

Fig. 51 Grasrost (Puccinia graminis). 1. Keimung einer Teleutospore (T) und Bildung einer Sporidie (Sp). 2. Keimung von Sporidien auf der Oberhaut eines Berberit enblattes. 3. Keimung einer Aecidiospore auf der Oberhaut einer Roggenpflanze 4. Keimende Sommerspore mit zwei Keimschläuchen. 5. Einzellige Sommersporen (U) und zweizellige Teleutosporen (T).

sich becherförmig öffnet und eine vierte Art von Sporen, die kettenförmig abgeschnürten, rötlichen Aecidiosporen, hervortreten läßt (Fig. 52); auf der Oberseite des gleichen Blattes entstanden schon vorher kleine, krugförmig eingesenkte Gebilde, die Spermogonien, welche als rudimentäre Organe des Pilzes angesehen werden. Die Aecidiosporen keimen nicht wieder auf der Berberitze, sondern nur auf den Blättern der erwähnten Gräser (Fig. 51 3. Ae.), auf denen dann wieder die Sommersporen und die Wintersporen des Pilzes entstehen. Der Entwicklungsgang dieses Rostpilzes zerfällt danach in zwei Generationen, die man als Puccinia-Generation und als Aecidium-Generation unterscheidet. Mit dem Generationswechsel geht ein Wirtwechsel Hand in Hand, weil die Puccinia-Generation nur auf Gräsern, die Aecidium-Generation nur auf der Berberitze zu leben vermag.

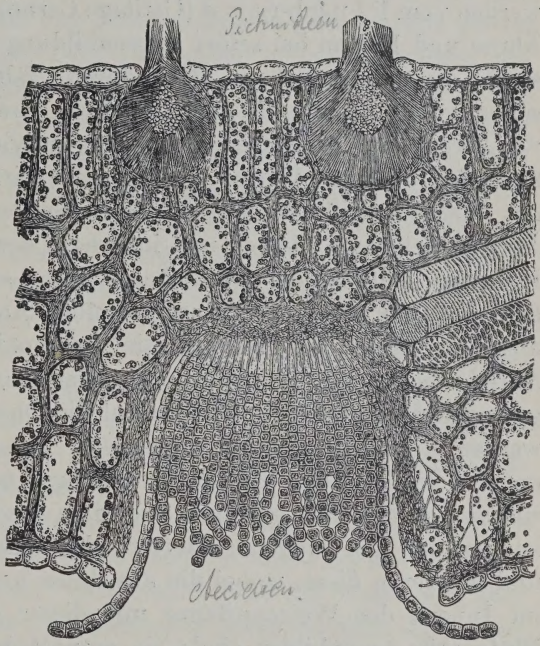

Fig. 52. Puccinia graminis, zweite Generation. Auf dem Durchschnitt eines von den Pilzfäden durchwucherten Berberitzenblattes treten an der Oberseite zwei Spermogonien, an der Unterseite eine geöffnete Aecidium-Frucht hervor.

Noch größere Verheerungen als der Grasrost richtet der Weizenrost an (Puccinia straminis), dessen Generationswechsel ganz analog dem des Grasrostes verläuft; allein seine Puccinia-Generation gedeiht nur auf dem Weizen, seine Aecidium-Generation nur auf einem verbreiteten Ackerunkraut, der Acker-Ochsenzunge (Anchusa arvensis). Eine Bekämpfung beider Rostkrankheiten wird dadurch möglich, daß man die Anpflanzung des Berberitzenstrauches untersagt und die Anchusa arvensis möglichst ausrottet.

Eine zweite Pflanzenkrankheit ist der Brand. Er wird durch verschiedene Gattungen und Arten aus der Familie der Brandpilze oder Ustilagineen verursacht. Die Brandpilze durchziehen mit ihren Fäden die Halme der Getreidearten und reifen ihre ein schwarzes Pulver bildenden Sporen meistens im Innern der jungen Früchte, die dadurch vernichtet werden. Der Hafer und die Gerste werden vom Flugbrand (Ustilago Carbo) befallen, der die ganzen Ähren und Rispen bei seiner Sporenbildung mehr oder weniger zerstört; die schwärzlichen „Brandähren" fallen in einem Kornfelde schon von weitem auf, doch ist diese Krankheit darum weniger verheerend, weil meistens nur einzelne Individuen eines Feldes davon betroffen werden. Um so verderblicher wirkt der Steinbrand des Weizens (Tilletia Caries), dessen Sporen von den Spelzen der Ähre umschlossen bleiben und innerhalb derselben zu einem harten Klumpen miteinander verkleben. Eine solche „Brandähre" ist äußerlich nur wenig von einer gesunden Ähre verschieden, enthält aber an Stelle der Körner die Sporenklumpen. Die kranken Ähren werden mit den gesunden zusammen ausgedroschen; dabei gelangen die Sporen der Tilletia auf die Oberfläche der Körner und werden mit ihnen zusammen ausgesät. Aus den keimenden Sporen entwickeln sich kurze Fäden, die analog dem Verhalten der Wintersporen von Puccinia graminis Sporidien abschnüren. Die Sporidien keimen auf den jüngsten Blättern der Keimpflanzen des Weizens und infizieren diese, wobei die aus ihnen hervorgehenden Pilzfäden im Innern der Weizenpflanze mit dieser emporwachsen, bis die Blütenteile ausgebildet sind; sie entwickeln dann im Innern des Fruchtknotens ihre Sporen. Gegen den in früheren Zeiten außerordentlich gefürchteten Steinbrand hat man so erfolgreich vorgehen können, daß diese Pflanzenkrankheit heute nur noch selten verheerend auftritt. Zu dem Ende werden die für die Aussaat bestimmten Weizenkörner vorher eine Zeitlang mit einer verdünnten Lösung von Kupfervitriol behandelt; dadurch werden die Brandsporen getötet, während bei rechtzeitigem Abbrechen des Verfahrens die Keimkraft der Weizenkörner keinen Schaden erleidet.

Als drittes Beispiel einer epidemischen Pflanzenkrankheit möge die Kartoffelkrankheit genannt sein. Bei ihr werden die

Blätter von den Fäden eines Schimmelpilzes, der Peronospora infestans, durchzogen, die auf der Unterseite der Blätter aus den Spaltöffnungen in feinen weißen Verzweigungen, den sogenannten Conidienträgern, hervorwachsen; Conidien nennt man die an den Spitzen dieser Fäden abgeschnürten, zitronenförmigen Sporen. Die abgefallenen Sporen keimen durch Benetzung mit Regen oder Tau und bilden dabei eine Anzahl von Schwärmsporen, die mittels zweier Rudergeißeln in den Regen- oder Tautropfen umherschwimmen, auf gesunde Pflanzen gelangen und durch die Oberhautzellen hindurch feine Keimfäden in das Innere des Blattgewebes hinein schicken. Indem der Wind die Conidien verweht, verbreitet er die Krankheit schnell über ein ganzes Kartoffelfeld. Aus den Blättern wachsen die Fäden auch durch den Stengel in die jungen Knollen hinein und können in diesen überwintern. Bemerkenswert ist das Schwarzwerden und Vertrocknen der Blätter einer erkrankten Pflanze. Man sieht in der Mitte eines der weißen, von den Conidienträgern gebildeten Flecke zuerst einen kleinen schwarzen Fleck auftreten, der sich schnell immer mehr vergrößert und von einem weißen Saum der Conidienträger umgeben bleibt, bis das ganze Blatt sich schwarz gefärbt hat und damit abgestorben ist. Das Absterben der Blattzellen wird durch eine Giftwirkung verursacht, die vom Pilze ausgeht. Sterben die Blätter frühzeitig ab, bevor sie das Material zu einer ausreichenden Knollenbildung liefern konnten, so wird dadurch die ganze Ernte vernichtet. Gewöhnlich tritt die Krankheit aber erst später auf, wenn schon einigermaßen große Knollen da waren; auch hierbei wird die assimilierende Tätigkeit der Blätter vorzeitig beendigt und der Knollenertrag beeinträchtigt. Auch von den aus dem Stengel in die Knollen eingedrungenen Pilzfäden geht eine Giftwirkung aus, welche die benachbarten Zellen der Knolle zum Absterben bringt. War die ganze Knolle abgetötet, so wird sie im Keller ein Raub von Fäulnis-Bakterien. War sie dagegen nur wenig infiziert, so kann sie im Frühjahr Verwendung als Saatgut finden; die Pilzfäden wachsen dann aus ihr durch den Stengel in die jungen Blätter hinein, und solche Stauden können den Anfang einer Infektion des ganzen Feldes durch die Krankheit bilden. —

Es gibt auch Pflanzenkrankheiten, die durch Bakterien verursacht werden; weit wichtiger aber ist die Rolle, die den Bakterien als Trägern von Infektionskrankheiten des Tierkörpers zufällt. Bevor hierfür Beispiele genannt werden, mögen noch einige zusammenfassende Bemerkungen über Bakterien Platz finden, nachdem diese wichtigen Organismen uns bereits mehrfach beschäftigt haben (vergl. Kap. 2, 5 und 10).

Die Bakterien sind einzellige oder aus Zellfäden bestehende Gebilde; auch die Faden-Bakterien zerfallen häufig in ihre Einzelzellen. Die Bakterienzellen sind stets von einer Zellmembran umgeben. Ihr Protoplasma zeigt häufig Zellsaft-erfüllte Hohlräume oder Vakuolen, entbehrt aber eines echten Zellkerns; dafür lassen sich zerstreute Chromatinkörner in ihm nachweisen. Die äußeren Schichten der Zellmembran quellen oft zu Schleim oder Gallerte auf und verbinden dadurch die einzelnen Zellen oder Fäden zu größeren Klumpen (Kolonien), die nicht selten schon für das unbewaffnete Auge eine charakteristische Form annehmen, die zur Unterscheidung von Arten zu dienen vermag. Der Zellendurchmesser der Bakterien überschreitet nur selten $^1/_{100}$ mm, die meisten sind weit kleiner, und einige dürften so klein sein, daß unsere Mikroskope zu ihrer Unterscheidung nicht ausreichen. Die Form der Einzelzellen ist bald mehr oder weniger kugelig-rund, man spricht dann von Kokken; oder sie ist stäbchenförmig verlängert und bildet den Bazillen-Typus. Zwischen beiden Formen kommen Übergänge vor. Manche Stäbchen, sowie manche mehrzellige Fäden zeigen auch schraubenförmige oder korkzieherartige Windungen. Die Zellen vieler Bakterien sind unbeweglich; andere schwimmen lebhaft in Flüssigkeiten umher mit Hilfe von Rudergeißeln, die in Einzahl oder in Mehrzahl verschiedenen Stellen der Körperoberfläche entspringen können und vermutlich Protoplasma-Fortsätze darstellen, die durch feine Durchbohrungen der Zellmembran hervorgestreckt werden. Die Vermehrung der Zellen geschieht nur durch Teilung; außerdem kommt die Bildung von Dauersporen vor, wobei sich das Protoplasma innerhalb der Zellmembran zusammenzieht und eine neue, derbere Zellwand abscheidet. (Vgl. Fig. 50 S. 121.) Die Dauersporen sind widerstandsfähig gegen Austrocknung, gegen Kälte und gegen Wärme.

Die Sporen des massenhaft in Heuaufgüssen vorkommenden Bacillus subtilis sind noch keimfähig nach halbstündigem Kochen im Wasser und werden erst durch mehrstündiges Kochen getötet. Auch die Sporen von Fäulnis-Bakterien, die überall im Staube der Luft und an der Oberfläche fester Körper vorkommen, werden durch Kochen mit Wasser bei gewöhnlichem Luftdruck, also durch eine Temperatur von 100 Grad C, nicht zum Absterben gebracht; erst längerem Kochen bei einer Temperatur von 110 Grad können sie nicht widerstehen und sterben ab. Darauf beruht die Methode der Konservierung von Gemüse, Früchten und Fleisch in luftdicht verschlossenen Büchsen. Die als Konserven zu verwendenden Teile von Pflanzen und Tieren sind stets mit den Keimen, bezw. Sporen von Fäulnis-Bakterien bedeckt, die unter lebhafter Vermehrung in Tätigkeit treten und die Zersetzung der organischen Gewebe einleiten, falls sie nicht durch Hitze oder durch Beimengung von Bakteriengiften (Salicylsäure, Zitronensäure, Phosphorsäure) unschädlich gemacht werden. Man erzielt die für Zerstörung der Fäulnis-Bakterien erforderliche Wärme von mindestens 110 Grad dadurch, daß man die zu konservierenden Tier- und Pflanzenteile erst in Blechdosen einlötet und dann kocht; die im Innern der Gefäße sich dabei entwickelnde Dampfspannung erhöht die Siedetemperatur der die Konserven umgebenden Flüssigkeit in der erwünschten Weise.

Nun einige Beispiele krankheitserregender Bakterien.

Die Diphtherie wird durch einen parasitischen Bazillus verursacht, der auf den von dieser Krankheit befallenen Schleimhäuten wuchert. Er besteht aus kleinen, keulenförmigen, bewegungslosen Stäbchen. In der freien Natur kommt der Diphtherie-Bazillus nicht vor, sondern nur an Gegenständen aus der Nähe der Kranken, so daß die Verbreitung der Krankheit durch mehr oder weniger unmittelbare Ansteckung erfolgt.

Auch die Tuberkulose wird durch einen parasitischen Bazillus veranlaßt, der in zarten, oft etwas gekrümmten, bewegungslosen Stäbchen besteht, die sich in den Tuberkeln und im Auswurf der Kranken finden. (Fig. 53.) Der Bazillus kann einige Zeit außerhalb des Körpers im eingetrockneten Zustande existieren und dann Infektionen bewirken.

Weniger ausgepsrochen parasitisch ist der Milzbrand-Bazillus. Er findet sich im Blut und in den blutbildenden Organen der erkrankten Tiere in größter Menge, kann aber auch außerhalb des Tierkörpers lange Zeit hindurch kultiviert werden und sich sogar Jahre lang in feuchtem Erdboden erhalten. Wenn man aus einer Reinkultur seine Stäbchen in die Blutbahn eines dafür empfänglichen Tieres einführt, vermehren sie sich schnell durch Teilung und führen die Erkrankung, bezw. den Tod des Tieres herbei. In Nährlösungen, z. B. verdünntem Fleischextrakt, bleiben die stäbchenförmigen Zellen oft zu langen Fäden verbunden und bilden im Innern Dauersporen, die gegen äußere Einflüsse widerstandsfähiger sind, als die Stäbchen, und, wenn man sie einem Tiere einimpft, gleichfalls die Krankheit übertragen.

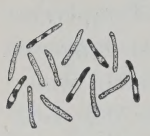

Fig. 53. Tuberkel-Bazillen. (Bacillus tuberculosis). — (Aus A. Fischer, Vorlesungen über Bakterien).

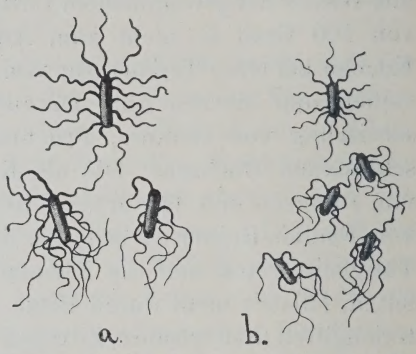

Fig. 54. a. Typhus-Bazillen (Bactridium typhi); b. der ganz ähnliche, im Darm gesunder Menschen vorkommende Kolonbazillus (Bactridium coli). — (Aus A. Fischer, Vorlesungen über Bakterien).

Der Typhus wird durch einen Bazillus verursacht, dessen kurze Stäbchen ringsum Geißeln tragen, was auf ein Leben im Wasser hinweist. (Fig. 54 a.) Er gedeiht in Gewässern, die durch Abgänge von Typhuskranken verunreinigt wurden. Gelangt der Bazillus in einen menschlichen Körper, so führt er dort eine parasitische Lebensweise in den verschiedensten Organen des Unterleibes, kann aber auch in das Blut übergehen; jedenfalls wird die Krankheit durch ihn veranlaßt. Als Beispiel dafür, wie schwierig es ist, diese Bakterien mikroskopisch sicher zu bestimmen, ist in Fig. 54b der dem Typhusbazillus ganz ähnliche, doch ungefährliche Kolonbazillus abgebildet.

Als weiteres Beispiel sei der Träger der Cholera (Vibrio cholerae) genannt. Er besteht aus kleinen, keulenförmigen, etwas korkzieherartig gedrehten Stäbchen, die an einem Ende eine Geißel

besitzen. (Fig. 55.) Die Cholera-Vibrionen scheinen ursprünglich in den Gewässern Ostindiens zuhause zu sein; sie können auch bei uns, namentlich in der warmen Jahreszeit, im Fluß- und Teichwasser leben, gehen aber schließlich in unserm Klima zu Grunde; ausgetrocknet sterben sie nach höchstens zwei Tagen ab. Wird vibrionenhaltiges Wasser getrunken, so vermehren sich die Vibrionen rasch an der Oberfläche des Darmrohrs und rufen dadurch die Krankheit hervor.

Endlich sei auch einiger kurzzelliger Bakterien oder Kokken als Krankheitserreger gedacht. Die gewöhnlichen Schwären und Furunkeln werden durch Staphylococcus pyogenes erregt, der beim Eindringen in kleine Wunden der Haut Eiterungen hervorruft. Er

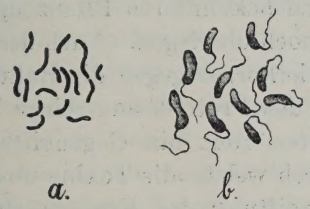

Fig 55. Cholera-Vibrionen (Vibrio cholerae); a. ohne Geißeln, b. mit Geißeln, stärker vergrößert. (Aus A. Fischer, Vorlesungen über Bakterien).

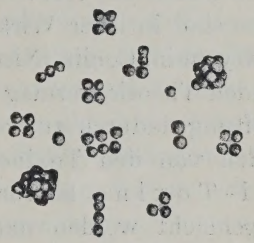

Fig. 56. Staphylokokken. (Staphylococcus pyogenes). — (Aus A. Fischer, Vorlesungen über Bakterien).

besteht aus winzigen, kugelrunden Zellen, die in unregelmäßigen Haufen beisammen liegen und überall im Staube, auf der menschlichen Haut, im Erdboden, im Pfützenwasser vorkommen. (Fig. 56.) Gefährlicher ist Streptococcus pyogenes, dessen Zellen kettenförmig zusammenhängen, und der als Parasit in Hohlräumen des menschlichen Körpers gedeiht, eiternde Geschwüre verursacht und beim Eindringen in die Blutbahn die Krankheit der Pyämie oder Blutvergiftung nach sich ziehen kann.

Sowohl die Außenhaut (Epidermis) wie auch die Schleimhäute der inneren Höhlungen des menschlichen Körpers sind im allgemeinen für bösartige Bakterien undurchdringlich, und es wird angenommen, daß Wunden, wenn auch noch so klein und mikroskopisch, die Pforten für ihren Zutritt zum Blute und zu den Geweben bilden. Ist die

Krankheit durch die Bakterien eingeleitet worden, so entspinnt sich gleichsam ein Kampf zwischen diesen und zwischen den Reaktionen des Körpers, von dessen Erfolg es abhängt, ob Genesung, oder ob der Tod eintritt. Die allgemeine Überzeugung geht dahin, daß die schädigende Wirkung der Bakterien in einer Absonderung von Giften besteht, die man als Nebenprodukte ihres Stoffwechsels anzusehen hat, und die als T o x i n e bezeichnet werden. Der Substanzverlust des Tierkörpers, den dieser durch die Ernährung der Bakterien und durch die von ihnen verursachten Gärwirkungen erleidet, ist zu unbedeutend, um den so raschen Verlauf vieler ansteckender Krankheiten verständlich erscheinen zu lassen. Die Bildung der Toxine stellt sich der Giftwirkung an die Seite, die von Peronospora infestans auf die Zellen der Kartoffelpflanze ausgeübt wird. Die Bakterien-Toxine sind in ihrer Wirksamkeit den bekannteren Pflanzengiften, wie Strychnin, Coniin, Nicotin usw., noch überlegen. Nach der herrschenden Theorie vermag sich der Tierkörper gegen die Bakterien-Vergiftung dadurch zu wehren, daß das Protoplasma seiner Zellen auf den von den Toxinen ausgeübten Reiz hin Gegengifte oder A n t i - T o x i n e hervorbringt, durch welche die Toxine unschädlich gemacht werden und eine Entgiftung des Körpers eintritt. Auch im Heilserum der Diphtherie wird ein solches Anti-Toxin in den Körper eingeführt und die Wirksamkeit der vom Diphtherie-Bazillus ausgehenden Toxine dadurch neutralisiert. Gewinnt die Anti-Toxinbildung bei einem Krankheitsverlauf die Oberhand, so tritt Heilung ein, was bei milderem Verlauf der Krankheit oder in deren Anfangsstadium am leichtesten geschieht. Wird die Toxinbildung dagegen so intensiv, daß die Anti-Toxinerzeugung nicht ausreicht, um eine Entgiftung der Gewebe herbeizuführen, so werden Tier oder Mensch an der Krankheit zu Grunde gehen.

Endlich können auch die ganzen Bakterien selbst, soweit sie in die Gewebe und in das Blut des Körpers eingedrungen waren, durch diesen vernichtet werden. Im Blut, in der Lymphe und im Bindegewebe sind überall weiße Blutkörperchen oder Leucocyten verbreitet, amöboide, membranlose Zellen, welche die Bakterien wie Nahrungsbrocken in ihr Inneres aufnehmen, dadurch abtöten und

dann wahrscheinlich wieder ausstoßen. Solche Bakterien fressende Leucocyten sind Phagocyten genannt worden.

Das Studium der Infektionskrankheiten hat ergeben, daß man sich am besten gegen sie schützt durch große Sauberkeit des eigenen Körpers sowie aller mit diesem in Berührung kommenden Verbrauchsgegenstände. Die Berührung fremder, erkrankter Körper kann eine gefährliche Ansteckungsursache werden. Sofern Bakterien an Nahrungsmitteln oder im Wasser vorhanden sind, muß man sie durch hohe Temperatur zum Absterben bringen. Wie es möglich war, den Steinbrand des Weizens durch geeignete Vorbeugungsmaßregeln fast zum Verschwinden zu bringen, so gelingt dies auch durch entsprechende Maßnahmen gegenüber manchen Ansteckungs-Krankheiten, z. B. der Cholera und der Pest, während der Kampf gegen andere Bakterien-Krankheiten schwieriger ist, zumal wir bei mehreren ansteckenden Krankheiten, z. B. den Masern und dem Scharlach, die Erreger noch nicht einmal kennen. Die Hygiene oder Gesundheitspflege betrachtet als ihre vornehmste Aufgabe den Kampf gegen die so gefährlichen pathogenen Bakterien, von denen einige so klein zu sein scheinen, daß sie sich dem mikroskopischen Nachweise bislang entzogen haben.

Kapitel 13.

Aus der Geschichte der Organismen.

Die Erde ist seit sehr langer Zeit von Organismen bevölkert. Wenn wir aber den Lehrsatz der Geologie als richtig gelten lassen, daß die Erde einst ein feurig-flüssiger Glutball war, der sich allmählich durch Ausstrahlung abkühlte, so kann sie nicht immer für lebendige Geschöpfe bewohnbar gewesen sein. Sie mußte sich bis auf eine an ihrer Oberfläche herrschende Temperatur abgekühlt haben, die den heute auf ihr herrschenden Wärmeverhältnissen einigermaßen gleich kam und jedenfalls unter der Siedetemperatur des Wassers lag. Denn dieser Temperatur kann lebendes Protoplasma erfahrungsmäßig nicht andauernd standhalten, ohne abgetötet zu werden; die meisten uns bekannten Organismen sterben schon ab bei einer Temperatur, die etwa 50 Grad C. entspricht. Der englische Physiker Lord Kelvin hat es versucht, die Zeitdauer, seit der unser Planet bewohnbar ist, annäherungsweise zu berechnen und ist dabei zu dem Ergebnis gelangt, daß die Erde seit mindestens 20 Millionen Jahren bewohnbar gewesen ist, daß sie aber frühestens vor 400 Millionen Jahren bewohnt werden konnte. Diese Berechnung läßt einen großen Spielraum für Möglichkeiten; vielleicht könnte man die Hypothese wagen, daß der Zustand der Bewohnbarkeit vor ungefähr 200 Millionen Jahren an der Erdoberfläche eingetreten ist.

Von den in der ersten Hälfte dieses Zeitabschnitts lebenden Organismen sind keine Überbleibsel auf uns gekommen. Vielleicht ist diese Hälfte die bei weitem längere gewesen. Sie wird in der Reihe der geologischen Formationen durch die kristallinischen Schiefer oder metamorphischen Gesteine gekennzeichnet, in denen nach-

träglich derartige mineralogische Umlagerungen stattgefunden haben, daß jede Spur vorhandener Organismenreste dadurch ausgetilgt wurde. Erst aus dem zweiten Teil jenes bewohnbaren Zeitabschnitts der Erdgeschichte sind dadurch deutlich unterscheidbare Reste von Tieren und Pflanzen auf uns gekommen, daß ihre festeren Teile so lange der Fäulnis Widerstand leisteten, bis sie vom abgelagerten Schlamm des Meeres und der Flüsse eingeschlossen waren und dieser Schlamm zu Gestein erhärtete. Auf solche Weise sind die Versteinerungen aus dem Tier- und Pflanzenreiche entstanden, mit denen sich die Wissenschaft der Paläontologie beschäftigt.

Die Versteinerungen lassen ganz überwiegend andere Arten erkennen, als gegenwärtig leben; zugleich zeigen sie aber, daß auch in den ältesten Zeiten, aus denen solche paläontologische Aktenstücke auf uns gekommen sind, keine andern Haupttypen von Pflanzen und Tieren existiert haben, als noch gegenwärtig die Erdoberfläche bevölkern. Zahlreiche Arten, Gattungen und Familien sind im Laufe der Erdgeschichte ausgestorben, wie wir auch heute Arten noch aussterben sehen; die Mannigfaltigkeit der Lebewesen wird durch diese ausgestorbenen Arten um ein Gewaltiges vermehrt. Zu beachten bleibt ferner, daß in den ältesten geologischen Zeiten gerade die wichtigsten der lebenden Haupttypen noch nicht existierten, und daß die ältesten Tiere und Pflanzen, von denen Reste auf uns gekommen sind, teilweise schon eine hohe Organisationsstufe einnahmen.

Die sämtlich dem Wasser entstammenden Ablagerungen von Gesteinen, in denen sich Überbleibsel von Lebewesen finden, werden von der Geologie in Formationen eingeteilt, die erdgeschichtlichen Hauptabschnitten entsprechen, die aber ebenso wie die Abschnitte der Menschheitsgeschichte durch Übergänge miteinander verbunden sind. Das relative Alter dieser übereinander geschichteten Formationen wird aus ihrer vertikalen Lage bestimmt, weil eine Schicht, die eine andere überlagert, jünger sein muß als die tiefer liegende. In langjähriger Erfahrung haben sich Geologie und Paläontologie so ineinander eingearbeitet, daß man auch umgekehrt aus den Fossilien die Zugehörigkeit einer Schicht zu einer Formation sowie ihr Alter bestimmen kann.

Wenn wir von der Gegenwart ausgehen, so nennt man die unmittelbar vorher gegangene Formation das Diluvium. Die diluvialen Erdmassen sind zum größten Teile nicht aus dem Meere abgelagert, sondern sie werden angesehen als die Grundmoränen gewaltiger Eismassen, die einst von den Polen her sich mehr oder weniger weit über die jetzige gemäßigte Zone unseres Planeten hin erstreckt haben. Die Diluvialzeit nennt man daher auch die Eiszeit der Erde. Ihre Fauna und Flora ist der der Gegenwart äußerst nahe verwandt.

Das Diluvium lagert über dem Tertiär, das ganz aus dem Meere abgesetzt zu sein scheint. In der Tertiärzeit herrschte ein warmes Klima bis zu den Polen hinauf. Die Pflanzen- und Tierwelt war der gegenwärtigen insofern ähnlich, als bereits vielfach dieselben Familien und Gattungen wie in der Gegenwart vorkamen, großenteils jedoch durch andere Arten vertreten. Man gliedert das Tertiär in die Unterformationen des Pliocän, des Miocän, des Oligocän und des Eocän. Im Pliocän stimmt schon ein großer Teil der versteinerten Arten mit den lebenden überein; im ältesten Tertiär dagegen, dem Eocän, nur ein geringer Bruchteil. Besondere Beachtung verdient, daß erst mit dem Tertiär die plazentalen Säugetiere auf dem Schauplatz der Erdgeschichte erscheinen, von denen die älteren Formationen noch keine Spur enthalten; ebenso bemerkenswert ist aber, daß diese Säuger auch schon im Tertiär alle Ordnungen umfassen, die gegenwärtig auf der Erde vorkommen.

Dem Tertiär voraus ging die Kreide. Aus ihr sind Wirbeltiere aller Klassen bekannt, von den Säugern aber nur Beuteltiere. Wichtig ist, daß in der mittleren Kreide, scheinbar ohne alle Vorläufer, die eigentlichen Blütenpflanzen, die Monokotylen und Dikotylen, in der gleichen Organisationshöhe und vielfach mit denselben Gattungen auftreten, wie wir sie lebend kennen.

Vor der Kreidezeit bestand die lange Periode des Jura, in der gleichfalls Beuteltiere lebten, ferner Vögel, unter ihnen ein ganz altertümlicher Typus, der Archaeopterix, mit Zähnen im Schnabel und langem, seitlich befiederten Schwanze (Fig. 57). Unter den zahlreichen, im Jura lebenden Sauriern sind besonders die Flugeidechsen bemerkenswert, die auch gleichsam plötzlich, ohne daß man Vor-

läufer von ihnen kennt, an der Erdoberfläche erscheinen. An höheren Pflanzen gab es damals nur Gymnospermen und Farne.

Unter dem Jura liegt die Trias-Formation mit ihrer Gliederung in Keuper, Muschelkalk und bunten Sandstein. Die Pflanzenwelt der

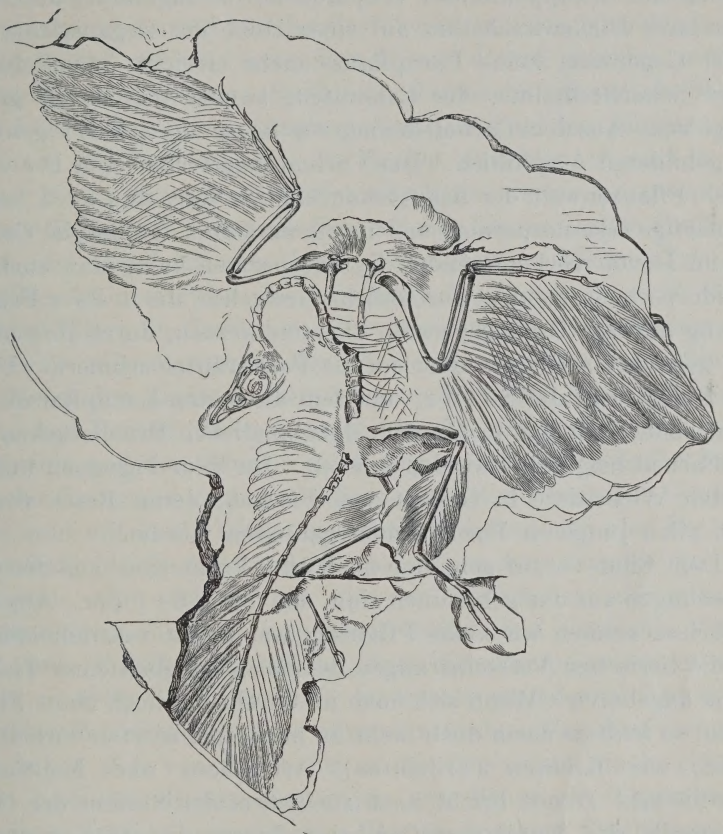

Fig. 57. Archaeopterix lithographica aus dem Solnhofener Schiefer. (Aus Claus-Grobben, Lehrbuch der Zoologie).

Trias war der des Jura ähnlich. In der Trias finden sich die ersten Spuren von Beuteltieren, damit von Säugetieren überhaupt; dann sind auch für diese Formation schon charakteristisch die großen Saurier, die im Jura den Höhepunkt ihrer Entwicklung erreichen.

Der Trias voraus ging die Perm-Formation, vor dieser bestand das Carbon mit der Steinkohle. Die letztere ist gebildet aus den Resten von Wäldern, die sich aus Gymnospermen und aus baumartigen Farngewächsen zusammensetzten. Unter letzteren standen die Schuppenbäume (Lepidodendron, Sigillaria) durch ihr sekundäres Dickenwachstum auf einer Höhe der Organisation, die in der Gegenwart keine Farnpflanze mehr erreicht. Auch baumartige Schachtelhalme, die Calamiten, kamen damals in großer Menge vor. Aus dem Carbon kennen wir ferner die ersten eigentümlich gebildeten Amphibien. Das Carbon lagert über dem Devon, dessen Pflanzenwelt der des Carbon ähnlich war, also auch bereits baumartige Gymnospermen und Farne umfaßte. Zu den im Carbon und im Devon vorkommenden Gymnospermen kann man auch die Pteridospermen rechnen, ansehnliche Gewächse, die in ihrer Fruchtbildung mit den Gymnospermen übereinstimmen, durch ihre mehrfach gefiederten Blätter aber an die Farnkräuter erinnern. Unter dem Devon liegt das Silur, aus dem die ersten Landpflanzen bekannt sind, doch unr in ziemlich unzulänglichen Bruchstücken, die den Farnen beigezählt werden müssen. Im Silur begegnen uns die ältesten Wirbeltiere in Gestalt von Fischen, deren Reste von da ab in allen jüngeren Formationen gefunden wurden.

Dem Silur vorauf geht nur noch eine Formation, aus der Versteinerungen auf uns gekommen sind, das Cambrium. Aus dem Cambrium kennen wir keine Pflanzen, was damit zusammenhängt, daß die tierischen Versteinerungen desselben lediglich einer Tiefsee-Fauna angehören. Wenn sich auch im Cambrium noch keine Fische finden, so fehlt es darin doch nicht an hochorganisierten wirbellosen Tieren, wie Krebsen (Trilobiten), Armfüßern und Kopffüßern (Nautiliden). Damit bricht nach rückwärts der Stamm der Organismenwelt ab. Unter dem Cambrium lagern die oben erwähnten versteinerungslosen kristallinischen Schiefer. Weil nicht gut zu bezweifeln ist, daß in den langen Zeitabschnitten, in denen diese Schiefer sich bildeten, bereits Lebewesen existierten, so hindern sie uns auch, die Tiere des Cambrium als die ersten Lebewesen anzusehen, die überhaupt an der Erdoberfläche aufgetreten sind.

Noch ein wichtiger Gesichtspunkt kommt in Betracht, das ist die Übereinstimmung mancher Fossilien der ältesten Formationen mit denen der späteren und mit Lebewesen der Gegenwart. Im gesamten Bestande der fossilen Pflanzenwelt gibt es keine größere Familie oder wenigstens keine Ordnung, von der nicht auch lebende Vertreter existierten; und kein fossiles Tier ist von den lebenden so verschieden, daß wir eine besondere Klasse darauf gründen müßten. Wenn auch die höchsten Stufen des Tierreichs (plazentale Säuger) und des Pflanzenreichs (Angiospermen) erst in den jüngsten Formationen, im Tertiär und in der Kreide, auftreten, so reichen doch Farne, Bärlappgewächse und Schachtelhalme sowie Gymnospermen aus der Gegenwart durch alle Formationen bis ins Carbon und Devon hinab, die Vögel bis zum Jura, die Beuteltiere bis zur Trias, die Reptilien bis zum Perm, die Amphibien bis zum Carbon, die Fische bis zum Silur; im Cambrium aber scheinen alle Hauptstämme des Tierreichs mit Ausnahme der Wirbeltiere bereits vorzukommen.

Unter den niederen Tieren sei zunächst der einzelligen Radiolarien und Foraminiferen gedacht, die ihre Organisationshöhe vom Cambrium und vom Silur bis in die Gegenwart nicht geändert haben. Manche Gattungen und vielleicht sogar Arten silurischer Foraminiferen sind mit heute lebenden identisch, haben sich also bis in die Gegenwart hinein unverändert erhalten; andere dagegen sind ausgestorben. Ein gleiches gilt von den Radiolarien, die selbst für das unterste Cambrium angegeben werden und somit die ältesten bekannten Fossilien darstellen. Auch Schwämme treten im Cambrium und im Silur bereits in mehreren gesonderten Typen auf. Von Korallen sind schon im Silur verschiedene Familien vorhanden und haben sich von da ab bis in die Gegenwart hinein erhalten, wenn auch die ältesten Gattungen von denen der Gegenwart in manchen Stücken abweichen. Ebenso kommen Stachelhäuter in ihren Haupttypen bereits in den ältesten Formationen vor.

Von den Gliedertieren reicht die Ordnung der Krebse aus dem Cambrium, die der Spinnen aus dem Silur bis in die Gegenwart hinein, und Insekten haben die der Vögel noch entbehrenden Wälder der Steinkohlenzeit mit einigen ihrer Typen, z. B. Heuschrecken, bevölkert.

Unter den Würmern sei besonders der Armfüßer oder Brachiopoden gedacht, die schon im Cambrium eine Organisationshöhe besitzen, die den heute lebenden Gattungen entspricht: ja, die Gattung Lingula findet sich ungeändert durch alle Formationen bis in die Gegenwart hinein. Die Kopffüßer (Cephalopoden) sind schon im Cambrium durch die Ordnung der Nautiloideen vertreten, von der heute noch die Gattung Nautilus lebt, so daß diese Ordnung sich durch alle bekannten Formationen hindurchzieht. Auch die Ordnungen der Muscheln und der Schnecken waren bereits im Cambrium und Silur vorhanden und finden sich in zahlreichen Gruppen ohne wesentliche Abweichungen bis in die Gegenwart hinein erhalten.

Spuren der niederen Pflanzen lassen sich nur dann bis in die ältesten Formationen hinein zurück verfolgen, wenn sie Kalk- oder Kieselschalen besaßen, wie die Foraminiferen und Radiolarien, wodurch sie sich für die Erhaltung eigneten. So hat man aus dem Silur eine fossile Röhrenalge (Siphonee) beschrieben, die mit der heute lebenden Gattung Bornetella identisch zu sein scheint, und Kieselpanzer von Diatomeen, deren Gattungscharaktere mit heute lebenden meist übereinstimmen, finden sich in großer Menge im Carbon.

Fische, von denen im Silur bereits Zähne vorkommen, finden sich in größter Menge im Devon. Hier treten sie auf mit den Ordnungen der Panzerfische, der Haifische (Selachier) und Knorpelfische (Ganoideen). Die letzteren haben noch lebende Vertreter, z. B. den Stör; Haifische sind in der Gegenwart massenhaft vorhanden, während die Panzerfische ausstarben. Die eigentlichen Knochenfische (Teleostier) zeigen sich zuerst, wenigstens in größerer Menge, im Jura.

Sehr merkwürdig ist das bereits erwähnte plötzliche Auftreten der eigentlichen Blütenpflanzen (Angiospermen) in der mittleren Kreide, ohne daß irgend eine Spur von ihnen in den mittleren oder gar älteren Formationen zu finden wäre. Im Tertiär scheinen dann alle ihre wichtigeren, heute lebenden Ordnungen bereits vorhanden gewesen zu sein. Den Typen nach glich die Pflanzendecke der Erde während der Tertiärzeit im wesentlichen der gegenwärtigen, wenn auch andere Gattungen und Arten vorhanden waren. Aber die Über-

einstimmung der Gattungen und Arten mit den lebenden wird immer größer, je mehr wir uns vom Eocän durch das Miocän dem Pliocän nähern, also fortschreiten von den ältesten bis zu den jüngsten Schichten der Tertiär-Flora.

Ebenso unvermittelt wie die Angiospermen in der Kreide, treten die plazentalen Säugetiere im Eocän auf, und zwar sind sie dort gleich in ihre bekannten zehn Ordnungen gespalten. Ihre fossilen Gattungen und Arten zeigen vom Eocän bis zum Pliocän wie bei den Blütenpflanzen eine fortschreitende Annäherung an die Fauna der Gegenwart.

Neben der Tatsache, daß zahlreiche Typen der Tiere und Pflanzen in ganz verschiedenen Perioden der Erdgeschichte zum ersten Male auftreten, tritt die andere hervor, daß sich viele dieser Typen seit ihrem Auftreten nicht wesentlich verändert haben, wenn auch manche Formen wieder ausgestorben sind, wie z. B. zahlreiche große Saurier, besonders die fliegenden Saurier des Jura. Es zeigt sich ferner, daß zahlreiche Sondertypen im Laufe der Erdgeschichte durch andere Sondertypen ersetzt worden sind, was die Palaeontologen als Mutation bezeichnen. Auch kommt noch in Betracht, daß ältere Typen nicht selten Merkmale vereinigen, die in jüngeren auf besondere Formen verteilt erscheinen; unter den Pflanzen sei an die Pteridospermen erinnert, die Merkmale von Farnkräutern mit denen von Gymnospermen verbinden. Das Gleiche gilt von tierischen Klassentypen, indem z. B. die Stegocephalen des Carbon, die als ältester Typus der Amphibien angesehen werden, bereits einige Reptilien-Merkmale besitzen, während die echten Reptilien zuerst in der auf das Carbon folgenden Perm-Formation auftreten. Auch vom ältesten Vogel, dem Archaeopterix, kann man sagen, daß er in seinem Eidechsenschwanz sowie in seinen Zähnen Reptilien-Merkmale aufweist. Der Archaeopteryx findet sich allerdings erst in der Juraformation, während echte Reptilien bereits einen vorherrschenden Bestandteil der Tierwelt in der vorausgehenden Trias-Formation bildeten.

Für die erwähnten Mutationen der Gattungen in aufeinander folgenden Zeiten, wie sie sich in den Fossilien aufeinander folgender Erdschichten zeigen, seien als besonderes Beispiel noch die im Tertiär gefundenen Vorläufer des Pferdes angeführt. Die Skelett-

teile dieser Tiere, deren relatives Alter sich aus der Schichtenfolge ergibt, zeigen Mutationen sowohl in den Zähnen wie in den Füßen, die einen korrelativen Zusammenhang haben. Die ältesten Gattungen dieser Huftiere haben niedrige, zugespitzt kegelförmige Zähne, die nach und nach durch Gattungen mit säulenförmigen, immer verwickeltere Schmelzfalten tragenden Mahlzähnen ersetzt werden bis zum lebenden Pferde der Gegenwart hinauf. Auf die Mutation der Füße sei etwas näher eingegangen. (Fig. 58.) Als erster Vorläufer des Pferdestamms gilt Phenacodus, ein kleines, langschwänziges Tier aus dem Unter-Eocän Nordamerikas mit fünf deutlich gesonderten Zehen und ziemlich kurzen Mittelfußknochen. Darauf folgt im Eocän Hyracoterium, ein gleichfalls kleines Tier, das bei verlängerten Mittelfußknochen an den Vorderbeinen vier, an den Hinterbeinen nur drei Zehen besitzt. Es folgen weiter im Eocän nach einander die Gattungen Eohippus, Orohippus und im obersten Eocän Epihippus, die sich durch fortschreitende Veränderungen der Zähne unterscheiden. Bei Mesohippus, bezw. Paläotherium im Oligocän ist auch der Vorderfuß dreizehig, die vierte und fünfte Zehe sind aber noch angedeutet als längeres Griffelbein, das dann bei dem miocänen Miohippus, bezw. Anchitherium ganz kurz wird. Bei Protohippus des Unter-Pliocän verkürzen sich die beiden Seitenzehen, so daß der Fuß nur auf der stark vergrößerten Mittelzehe läuft. Bei Pliohippus bezw. Hipparion des Ober-Pliocän verkümmern die Seitenzehen noch mehr zu dünnen Griffelbeinen. Gegen Ende des Pliocän erscheinen dann die echten Pferde, bei denen nur die hufartig ver-

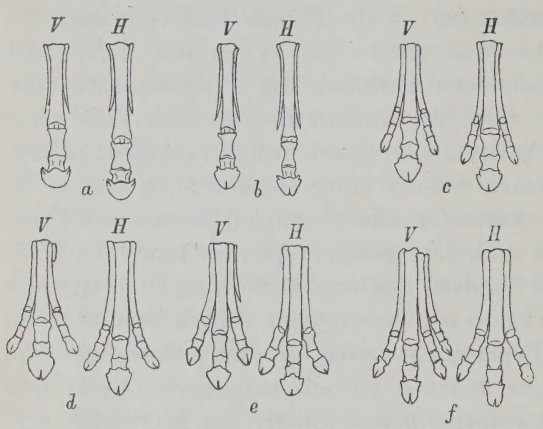

Fig. 58. Die Füsse des Pferdes und einiger seiner tertiären Verläufer. V. bedeutet Vorder-, H. Hinderfuß; a. vom Pferd; b. Pliohippus (Ober-Pliocän); c. Protohippus (Unter-Pliocän); d. Miohippus (Miocän); e. Mesohippus (Oligocän); f. Orohippus (Eocän). — (Aus Claus-Grobben, Lehrbuch d. Zoologie).

größerte Mittelzehe an allen vier Beinen übrig geblieben ist. Bezieht man diese Formen aufeinander, so kann man sagen, daß die Mutationen der Füße der aufeinander folgenden und einander ablösenden Gattungen darin bestehen, daß unter sukzessiver Verkümmerung der Seitenzehen und unter Verstärkung der Mittelzehe diese letztere zum Pferdehuf wird.

Interessant sind die Beziehungen der tertiären Wale zu den lebenden. Aus dem Tertiär sind nur Zahnwale bekannt; in der Gegenwart gibt es außer Zahnwalen auch Bartenwale. Wenn die letzteren auch im erwachsenen Zustande keine Zähne besitzen, so ist doch beachtenswert, daß man bei ihnen auf ganz früher Entwicklungsstufe Zähne beobachtet hat, die später wieder verschwinden.

Lange Reihen aufeinander folgender Mutationen, die durch wenig scharfe Merkmale voneinander geschieden sind, finden sich bei den zu den Kopffüßern gehörenden Ammoniten der Jura-Formation. Ähnliche Übergangsformen zeigen die im oberen Tertiär gefundenen Schalen der Süßwasserschnecke Paludina durch eine größere Zahl aufeinander folgender Schichten hindurch; je zwei in unmittelbar aufeinander folgenden Schichten gefundene Formen sind nur ganz wenig, die Formen der jüngsten Schichten sind dagegen von denen der ältesten auffallend verschieden. Übergangsreihen tertiärer Pflanzenformen ineinander sind in ähnlicher Vollständigkeit nicht bekannt. —

Wie sehr im einzelnen auch die uns im versteinerten Zustande überlieferten Typen der Pflanzen und Tiere früherer Erdepochen von denen der Gegenwart abweichen mögen, so deutet ihre Organisation doch darauf hin, daß die Grundlagen ihres Körperbaus und damit ihre Lebensverrichtungen von den Zeiten des Cambriums und des Silurs bis in die Gegenwart hinein sich nicht wesentlich geändert haben. Wohl sind manche Sonderanpassungen ausgestorben, andere neu hinzugekommen; allein das Leben, soweit es auf der Organisation und der Tätigkeit der Zellen beruht, muß seit den ältesten Zeiten der Erdgeschichte, in denen Lebewesen aufgetreten sind, im wesentlichen sich gleich geblieben sein. Es ist das eine Schlußfolgerung, auf die alle Tatsachen hinweisen, und der keine einzige widerspricht.

Kapitel 14.

Der Mensch.

Der Mensch gehört seinem Körper nach ins Tierreich, zur Klasse der Säugetiere; in dieser Beziehung bildet er ein naturwissenschaftliches, bezw. ein biologisches Problem. Darum stellte schon Linné die Gattung Mensch mit der einzigen Art Homo sapiens als alleinigen Repräsentanten der Ordnung Zweihänder an die Spitze der Säugetiere, der sich die Ordnung der Vierhänder oder Affen unmittelbar anreiht. Zoologisch unterscheidet sich der Mensch von den Affen hauptsächlich durch seine beiden Schreitfüße sowie durch den aufrechten Gang, der eine besondere Art der Schädelhaltung und eine eigentümliche Lage des Hinterhauptlochs mit sich bringt. Das Fehlen eines derben Haarkleides auf dem größten Teile der Körperoberfläche unterscheidet die Menschen gleichfalls von den meisten Säugetieren. In den übrigen Grundzügen des Körperbaus sowie in den Funktionen der Ernährung, der Fortpflanzung, der Empfindung und der willkürlichen Bewegung schließt sich der Mensch den höheren Säugetieren an. Insbesondere ist die Gliederung seines Zentralnervensystems in Großhirn, Kleinhirn und Rückenmark, sowie die Ausbildung der Sinnesorgane eine ganz analoge und anscheinend nur dem Grade nach verschieden von dem der höheren Säugetiere, wobei die relative Gehirngröße eine wichtige, aber doch nur quantitative Auszeichnung des Menschen vor den nächststehenden Säugetieren bildet. Daß das Bewußtsein und die übrigen psychischen Funktionen eng an den Nervenapparat des Großhirns geknüpft sind, wurde bereits hervorgehoben.

Daß die Menschen verschiedener Erdstriche nach Farbe und Körperlichkeit ein sehr verschiedenes Aussehen haben, ist bekannt

genug. Schon frühe unterschied man danach die Rassen der Kaukasier, der Mongolen, der Amerikaner, der Malayen, der Afrikaner und der Australier, Unterscheidungen, die in der Neuzeit mehrfache Abänderungen erfahren haben, ohne daß man zu einer endgültigen Einteilung gekommen wäre. Mancherlei Tatsachen sprechen dafür, daß schon auf dem Boden Europas mehrere alte Rassen bestanden haben, zwischen denen im Laufe der geschichtlichen Berührung zahlreiche Mischungen vorgekommen sind.

Die Geschichte der Menschheit ist teils niedergelegt in geschriebenen Akten, die uns von den Taten früherer Geschlechter erzählen, teils nur überliefert in Knochenresten, Werkzeugen und Kunstgegenständen, ohne daß erläuternde Schriftzeichen solche Überbleibsel begleiteten. Man unterscheidet danach z. B. bei den europäischen Völkern zwischen eigentlicher, auf geschriebene Urkunden sich gründender Geschichte und zwischen Vorgeschichte oder Urgeschichte. Die wortlosen Dokumente der Urgeschichte sind zu deuten nach dem Maßstabe der Kultur, die sich in ihnen ausspricht, und ihre Altersbestimmung erfolgt nach den Regeln, die für paläontologische Altersbestimmungen maßgebend sind. So ging in Nordeuropa der Zeit, in der die Menschen über eiserne Waffen und Geräte verfügten, das Bronzezeitalter voraus, in dem die Bronze das Eisen vertrat. Älter als die Bronzezeit war die Steinzeit, in der die Menschen noch nicht die Kunst verstanden, Metalle bergmännisch zu gewinnen und technisch zu bearbeiten, oder sie sich aus anderen Ländern durch Handelsbeziehungen zu verschaffen. Diese Steinzeit zerfällt wieder in eine jüngere oder neolithische und in eine ältere oder paläolithische Periode. Die Waffen der älteren Steinzeit bestanden in mehr oder weniger roh oder elegant zugehauenen Messern, Beilen, Lanzenspitzen (Fig. 59). In der neolithischen Zeit war die Bearbeitung der Steine eine weit vollkommnere geworden; die Steinäxte waren meistens geschliffen und durchlöchert, so daß ein Stiel hindurch gesteckt werden konnte. Auch

Fig. 59. Lanzenspitze aus der älteren Steinzeit, bei Solutré in Frankreich gefunden.

verfügten die neolithischen Menschen schon über die Fertigkeit, Tongefäße zu formen, sowie aus Pflanzenfasern Stricke und Kleidungsstücke herzustellen, während aus der älteren Steinzeit uns neben den mehr oder weniger roh behauenen Steinwaffen allerdings auch aus Knochen und Horn geschnitzte Harpunen, Speere usw. erhalten geblieben sind.

Wenn man den Beginn der neolithischen Steinzeit auf etwa 10 000 Jahre v. Chr. zu setzen versuchte, so müssen wir diesen Abschnitt der Vorgeschichte des europäischen Menschen in geologischer Hinsicht zur Gegenwart rechnen, wie denn auch die Menschen der neolithischen Epoche nach und nach in die Bronzezeit, in die Eisenzeit und zuletzt in die eigentlich geschichtliche Zeit eintreten. Im Gegensatz dazu können wir die paläolithischen Menschen auch als diluviale Menschen bezeichnen, weil sie während der der Gegenwart vorausgegangenen erdgeschichtlichen Periode des Diluviums gelebt haben. Das Diluvium war eine Eiszeit, in der vom Nordpol her zusammenhängende Massen von Inlandeis den größten Teil Nordeuropas bedeckten, während von den Alpen aus weit mächtigere Gletscher, als sie dort jetzt vorkommen, sich über einen Teil Mitteleuropas erstreckten. Während dieser Zeit der Vergletscherung, in der sich mehrere Hin- und Hergänge des Eises nachweisen lassen, in der die Gletscher abschmolzen und wieder vorrückten, lebte mit einer großen Zahl interessanter Säugetiere zusammen auch bereits der Mensch, und zwar dürften wir diesen ersten Abschnitt der Vorgeschichte des europäischen Menschen wohl auf rund 50 000 Jahre veranschlagen Natürlich waren menschliche Niederlassungen nur dort möglich, wo das Eis zurückgewichen war, bezw. am Rande des vergletscherten Gebiets; unmittelbar nach der eigentlichen Eiszeit breitete das Wohngebiet der diluvialen Menschen sich mehr und mehr aus.

Aus dem jüngeren und mittleren Diluvium sind Skelette von Menschen aufgefunden worden, deren Typus dem der heutigen Europäer gleicht; es waren stattliche Gestalten mit hochgewölbter Stirn, so daß sich ihres Schädels kein zeitgenössischer Europäer zu schämen brauchte. Besonders die Höhlen der Dordogne in Frankreich, z. B. die von Crô-Magnon, haben bemerkenswerte Funde von

Menschenknochen geliefert. In diesen Höhlen sowie an mehreren Orten der Nord-Schweiz hat man neben Waffen und Handwerksgerät aller Art, wie Nadeln, Bohrer, Harpunen (Fig. 60.) usw., vor allen Dingen auch Kunstwerke gefunden, die teils als Rötelzeichnungen (Fig. 61) die Wände der Höhlen bedeckten, teils Gravierungen und

Fig. 60. Harpune aus der Umgegend von Schaffhausen.

Skulpturen auf Renntierknochen (Fig. 62) und aus Geweihen darstellen. Berühmt ist die Höhle von Combarelles mit 109 Tierbildern, darunter 14 Zeichnungen vom Mammut, 40 vom Wildpferd. Unter den Gravierungen sind besonders noch auf Renntiergeweih ein-

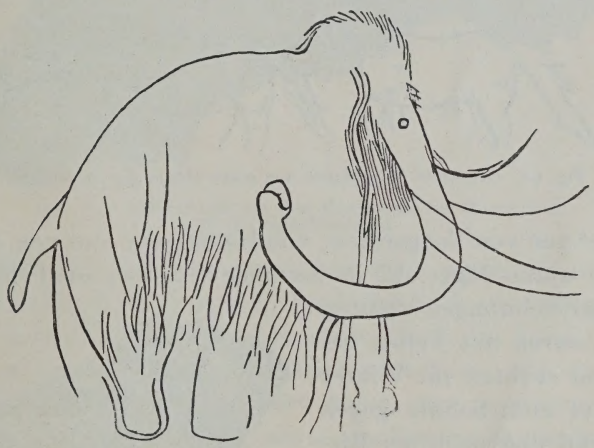

Fig. 61. Mammut-Zeichnung aus der Höhle von Combarelles, in eine Felswand geritzt, mit Rötel eingerieben.

geritzte Wildpferde (Fig. 63) zu nennen, unter den Skulpturen Pferdeköpfe (Fig. 64) und selbst Menschenköpfe, die aus Elfenbein oder Hirschhorn oder weichen Steinen geschnitzt worden sind. Man erkennt daraus, daß auch diesen mitteldiluvialen Menschen ideale Bedürfnisse nicht fremd waren, daß sie bis zu einem gewissen Grade

ein Leben in Kunst führten, daß sie einen hohen Grad der Befähigung zu künstlerischer Auffassung wie zu technischen Erfindungen aller Art besessen haben. War die Kultur dieser Menschen auch die eines wilden Volkes, so war sie doch Kultur, und indem jene Menschen die Anfänge der Kultur schufen, leisteten sie für ihre Zeit nicht weniger als wir für die unsrige, die wir die bereits in der Diluvialzeit wurzelnde Menschheitskultur fortsetzen. Auch Feuerstätten besaß der diluviale Mensch, doch fehlt

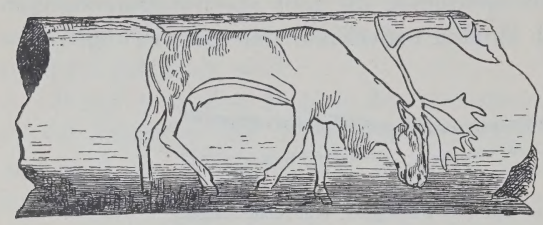

Fig. 62 Renntier, auf Renntierhorn graviert, aus dem Keßlerloch bei Thayingen in der Nord-Schweiz.

Fig. 63. Gravierte Wildpferde aus einer Höhle der Dordogne.

noch jede Spur von Tongeräten, von Haustieren und von Ackerbau. Die Leute waren Jäger, die im Sommer in Zelten aus Fellen lebten, von denen Zeichnungen erhalten sind; sie waren mit Fellen bekleidet und suchten im Winter Höhlen auf zum Schutz gegen das während und nach der Eiszeit herrschende nordsibirische Klima, dem die damalige Tierwelt entsprach. Auch Schmuck trugen sie, Zähne von Tieren sowie Muscheln und Versteinerungen. So war schon der Mensch des Diluviums ein Techniker, der seine Fähigkeiten und seine Naturbeobachtung zur Erhaltung

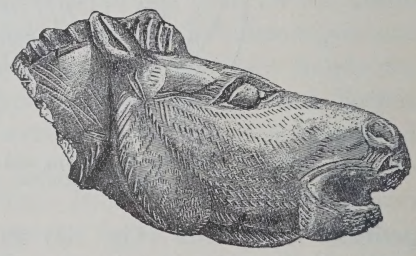

Fig. 64 Geschnitzter Wildpferdkopf aus einer Höhle von Solutré in der Dordogne.

und Förderung des Lebens verwendete, dem Genuß und Luxus ein Ziel waren, der Kunstsinn besaß, aus dessen Arbeiten eine primitive Wissenschaft aufleuchtet.

Auch aus altdiluvialen Ablagerungen sind Menschenreste auf uns gekommen. Der zuerst entdeckte dieser Funde ist ein Schädeldach aus dem Neandertal bei Düsseldorf (Fig. 65). Dann fand man eine Reihe aus dieser Zeit stammender Skelettreste bei Krapina in Kroatien und zuletzt das Skelett eines Jünglings bei Le Moustier, von dem Fig. 66 den Schädel wiedergibt, sowie ein anderes Skelett eines Greises in der Höhle von La Corrèze, beide in der Dordogne.

Fig. 65. Schädeldach aus dem Neandertal bei Düsseldorf. (Nach Schaaffhausen).

Diese altdiluvialen Menschenreste stimmen unter sich mehr oder weniger überein und unterscheiden sich merklich von der mittel- und jungdiluvialen Rasse, wie sie besonders durch die Funde von Crô-Magnon verkörpert wird. Die Neandertal-Rasse, wie man sie gewöhnlich nennt, ist charakterisiert durch eine niedrigere Schädelkapsel mit „fliehender" Stirn sowie stark hervortretenden Augenbrauenwülsten und zurücktretendem Kinn; auch hatten diese Urmenschen krumme Beine und waren von kleiner, gedrungener Gestalt. Die Zähne und andere Merkmale lassen sie aber als echte Menschen erkennen; auch waren die Skelette von paläolithischen Feuersteinwerkzeugen sowie von zerschlagenen Knochen der damals lebenden Tierwelt umgeben. Besonders auffallend ist, daß die beiden zuletzt erwähnten Skelette aus der Dordogne in einer Stellung ge-

funden wurden, die darauf schließen läßt, daß sie von ihren Angehörigen mit pietätvoller Sorgfalt und Hingebung bestattet worden sind, und diese Tatsache sowie ihre wenn auch rohe Waffentechnik ist ein Zeugnis der primitiven Kultur jener uralten Menschen. Während die Neandertal-Rasse von der späteren jung- und mitteldiluvialen Rasse und von den in der Gegenwart lebenden Bewohnern Europas verschieden gewesen zu sein scheint, nähert sie sich durch

Fig. 66. Schädel eines in einer Grotte bei Le Moustier in Frankreich 1908 gefundenen Skeletts. (Nach Hoernes).

die Merkmale ihrer Knochenüberreste den heutigen Bewohnern des australischen Kontinents.

Endlich ist neuerdings auch aus einer Schicht des ältesten Diluviums, die vielleicht unmittelbar auf die letzten tertiären Ablagerungen folgte, ein bemerkenswerter Knochenrest aufgefunden worden im Neckartal, in der Nähe von Heidelberg. Es ist allerdings nur ein einziger Unterkiefer, doch während die Zähne dieser Kinnlade die Eigenschaften eines echt menschlichen Gebisses zeigen, ist der Kiefer selbst gröber und dadurch tierähnlicher als der

sonstiger Menschen, so daß möglicherweise hier der Überrest einer ursprünglichen Menschenrasse beobachtet wurde, die sich vom Neandertal-Typus durch ein beachtenswertes Merkmal unterscheidet.

Damit gelangen die Funde menschlicher Überbleibsel in der Erdgeschichte zu ihrem rückwärtigen Abschluß. In den Ablagerungen des Tertiärs hat man niemals einen menschlichen Knochen wahrgenommen. Wohl aber ist hingewiesen auf scharfkantige Feuersteinsplitter aus dem Tertiär, die eine gewisse Ähnlichkeit mit den rohesten Feuersteinwerkzeugen der paläolithischen Zeit besitzen. Sie werden darum von manchen als menschliche Artefakte angesehen und haben als solche den Namen der Eolithen erhalten. Indes dürfte es verfrüht sein, die Eolithen mit Sicherheit für menschliche Werkzeuge auszugeben, bevor man nicht mit ihnen zusammen auch zweifellose Menschenknochen gefunden hat. Allerlei andere Bedenken machen sich auch sonst noch gegen die Deutung der Eolithen als menschlicher Erzeugnisse geltend. So ist es auffallend, daß man sie gerade im Oligocän, also im ganz frühen Tertiär, gefunden hat, dessen Entstehung durch einen ungeheuren Zeitraum vom Altdiluvium getrennt ist. Dann kommt ferner in Betracht, daß die ältesten Steingeräte der Diluvialmenschen durch mehr oder weniger geschicktes Zerschlagen von Feuersteinen gewonnen wurden, und daß die beim Zerschlagen auftretenden, am meisten geeigneten Bruchstücke ausgelesen wurden, um als Messer, Schaber usw. zu dienen. Wenn nun aber durch irgend eine Katastrophe in der Oligocänzeit, der vielleicht jedes organische Leben ferngestanden hat, z. B. durch ein Erdbeben, eine Feuersteinknolle zur Zersplitterung gebracht wurde, so mußten mit Notwendigkeit Steinsplitter entstehen, die eine gewisse Ähnlichkeit mit den Steinmessern der ältesten paläolithischen Menschen besaßen. Es dürfte somit kein zwingender Anlaß vorliegen, das uns bekannte Alter des Menschengeschlechts bis über das Diluvium hinaus zu rücken. Im Altdiluvium erscheinen die ersten Menschen, ohne daß wir ihre Vorläufer kennen. Als wären sie ahnenlos, betreten sie die Schaubühne der Erdgeschichte. —

Während durch den sichtbaren Teil seines Wesens der Mensch alle Lebens- und Erscheinungsbedingungen der Tierwelt teilt, erhebt

er sich durch sein unsichtbares Teil, durch seinen Geist und durch den Wert seiner seelischen Persönlichkeit, unermeßlich hoch über die gesamte Tierwelt, insbesondere auch über die im zoologischen System ihm am nächsten stehenden Säugetiere, die Menschenaffen. Denn diese besitzen nur eine Naturgeschichte, keine Kulturgeschichte. Letztere besteht in Berichten über fortgesetzte Siege des menschlichen Geistes über die Natur und in einer selbstbewußten Überwindung der eigenen Naturtriebe in Fällen, wo es nachteilig und unstatthaft wäre, ihnen zu folgen. Logisches und abstraktes Denken, richtiges Urteil auf Grund von Überlegung, zweckmäßiges Handeln, religiöses, künstlerisches, sittliches Fühlen und Wollen — das sind unsichtbare, geistige Eigenschaften des Menschen, durch welche die Grenzlinien zwischen ihm und den Säugetieren festgelegt sind.

Die geistigen Fähigkeiten des Menschen bilden einen Komplex von Eigenschaften, die untereinander nicht weniger zusammenhängen als die körperlichen und die eine nicht weniger harmonische Einheit bilden, als der Körper es ist. Eine Tatsache von fundamentaler Bedeutung bleibt aber, daß wir die menschliche Seele nur kennen in ihrer innigen Verbindung mit dem lebendigen Körper, daß nach dem Tode des Körpers keine Spuren seelischer, bezw. geistiger Funktionen mehr zur Wahrnehmung gelangen.

Dabei ist der Zusammenhang zwischen dem geistigen und dem körperlichen System des lebenden Menschen in Dunkel gehüllt, und je tiefer die Forschung eindrang, um so dichtere Schleier fand sie über diesen Zusammenhang gebreitet. Nur soviel hat festgestellt werden können, daß das Bewußtsein an den lebenstätigen Zustand der Zellen in der Großhirnrinde geknüpft ist, daß zahlreiche einzelne psychische Verrichtungen ihren „Sitz" in abgegrenzten Bezirken des Gehirns haben, daß man letzteres, und zwar nur sofern es gesund ist, als die Werkstatt bezeichnen darf, in der der Geist seine Gedanken hervorbringt, von der seine Willensakte ausstrahlen. Über die Mitwirkung der materiellen Hirnprozesse am Denken, Vorstellen, Fühlen und Wollen fehlt jede annehmbare Vorstellung, jede einleuchtende Hypothese. Geistige und materielle Vorgänge sind ihrem Wesen nach etwas völlig Verschiedenes, sie sind unvergleichbar.

Der enge Zusammenhang zwischen unserm Geiste und dem materiellen System des Körpers, bezw. des Gehirns wird auch erhärtet durch die Gemeinsamkeit und das Handinhandgehen der Entwicklung beider. Die geistigen Fähigkeiten des neugeborenen Menschen sind ganz unausgebildet; sie gelangen zur Entwicklung mit der körperlichen Entwicklung des Kindes. Wieweit diese seelisch-körperliche Entwicklung vor der Geburt Platz greift, ob es ein Vorstadium rein physischer Entwicklung gibt, dafür fehlt uns jede Kenntnis und jede Erfahrung.

Bei Betrachtung der menschlichen Seele dürfen wir an der wichtigen Tatsache nicht vorbeigehen, daß auch die höheren Tiere eine Seele besitzen; wie weit eine Seele in der Tierreihe nach abwärts hin vorkommt, ist dabei ebenso ungewiß, wie das Vorhandensein seelischer Eigenschaften auf den frühsten körperlichen Entwicklungsstufen des Menschen. Das Bewußtsein können wir als das Grund-Symptom alles Seelenlebens gelten lassen; weil sich im Pflanzenreich keine Spur davon nachweisen läßt, haben wir auch kein Recht, den Pflanzen eine Seele zuzuschreiben. Die Pflanzen sind mit Reizbarkeit ausgestattete Automaten, und über die Stufe unbewußter Reflexbewegungen ragen die pflanzlichen Reizreaktionen nicht hinaus.

Die psychischen Eigenschaften der höchststehenden Tiere, der Säugetiere, Vögel, Ameisen usw., sind indes von den Eigenschaften des menschlichen Geistes durch eine tiefe Kluft geschieden; darin besteht die Berechtigung, den Menschen als eigenartiges Lebewesen der gesamten Tierwelt gegenüberzustellen. Dennoch ist nicht zu verkennen, daß in den seelischen Eigenschaften der Tiere mancherlei Anklänge an die des Menschen zutage treten.

Aber die Äußerungen der Tierseele sind höchstens denen einer unentwickelten Menschenseele vergleichbar. Wenn ein Hund eine gewisse Klugheit zeigt, wenn er Freude und Trauer, Furcht und Erwartung zu erkennen gibt, wenn er im Laufe seines Lebens Erfahrungen sammelt und zweckloses Handeln vermeiden lernt, wenn er Anhänglichkeit an seinen Herrn und Feindseligkeit gegen dessen Feinde zeigt, so fehlen ihm doch die eigentlichen geistigen Fähigkeiten, das abstrakte Denken, das sittliche Fühlen, Wollen und

Handeln, die freie Persönlichkeit, die Fähigkeit zur Kultur, das Streben nach dem Ideal. Dazu kommt als Vorrecht des Menschen der Besitz einer Sprache, die sich über die Verständigungsmittel der Tiere untereinander, mögen diese in Lauten oder in Gebärden bestehen, turmhoch erhebt. Gewiß können Mensch und Tier sich durch mancherlei Zeichen, unter denen Worte eine wichtige Rolle spielen, miteinander verständigen. Allein diese Zeichen wirken nur als Reize, und zum Ausdruck abstrakten Denkens können tierische Laute schon darum nicht werden, weil wir noch kein Anzeichen eines solchen Denkens bei Tieren wahrgenommen haben.

Man braucht nicht so weit zu gehen, alle Äußerungen tierischen Seelenlebens auf Instinkte zurückzuführen. Unter Instinkten verstehen wir unbewußte, ererbte Anlagen zu Handlungen, die zweckmäßig im Interesse der Erhaltung des Individuums und der Art erfolgen. So baut die Schwalbe ihr Nest, webt die Spinne ihr Netz, konstruiert die Biene ihre sechsseitigen Waben, ohne daß sie es gelernt hätten, auf Grund erblich von den Vorfahren überkommener Triebe. Diese Instinkte gewinnen über freiere psychische Handlungen im Tierleben um so mehr den Vorrang, je tiefer wir auf der Stufenleiter des Tierreichs hinabsteigen. Sie fehlen aber dem Menschen auch nicht ganz, wie das Verhalten des neugeborenen Säuglings zur Mutterbrust lehrt. Alles dies zeigt, daß auch die als psychisch im weitesten Sinne zu betrachtenden Erscheinungen des Tierlebens mancherlei Analogie und Übereinstimmung mit menschlichen Eigenschaften zeigen, so daß auch auf psychischem Gebiete der Gegensatz zwischen Mensch und Tier kein so scharfer ist, wie der zwischen Mensch und Pflanze; wie denn auf rein körperlichem Gebiete der Gegensatz zu den höchsten Tieren fast vollständig schwindet. Dennoch erhebt sich die Seele, bezw. der Geist des Menschen so hoch über die der vollkommensten Tiere, daß, wie schon gesagt wurde, die Kluft zwischen beiden als eine tiefe, unüberbrückbare zu gelten hat.

Gerade wegen dieser vielfachen engen Beziehungen zwischen Mensch und Tier durfte auch die Kulturgeschichte des Menschen im Rahmen einer allgemeinen Biologie nicht unerwähnt bleiben. Denn der Mensch ist das einzige Lebewesen, das eine Kulturgeschichte besitzt, ein Leben in Sittlichkeit, in Religion, in Kunst, in Wissen-

schaft führt. Trotzdem ruht auch das Leben des Menschen auf dem gemeinsamen Unterbau, der alles Leben in der Welt trägt, auf dem Unterbau der Zellen, des Protoplasma, der Zellkerne usw. Auch das Gehirn des Menschen ist aus kernhaltigen Zellen zusammengesetzt, die einander sehr ähnlich sind, und die sich weder von einer tierischen Keimzelle, noch von einer Pflanzenzelle anscheinend wesentlich unterscheiden. Dennoch ist an diese Gehirnzellen der ganze Reichtum menschlichen Seelenlebens gebunden. Wie dieser Zusammenhang geknüpft ist, darüber vermag uns weder das Mikroskop noch die chemische Analyse Auskunft zu geben. Wir sehen mit unsern besten Vergrößerungsgläsern in den Hirnzellen nur Protoplasma und Zellkerne, wie sie auch in andern Zellen vorkommen, und wir können nur feststellen, ob die Gewebe gesund sind, oder nicht. Im letzteren Falle werden auch die geistigen Funktionen krankhaft. Wir müssen daraus folgern, daß für die Betätigung gesunden Geisteslebens auch ein gesunder Zustand seiner körperlichen Grundlage erforderlich ist; doch verfehlt wäre der Schluß, daß das richtige Empfinden und Denken lediglich eine materielle Funktion jener gesunden Zellen sei. Die geistigen Probleme auf Zellenprobleme zurückzuführen, ist noch keiner Psychologie gelungen, und je weiter die Psychologie in die Einzelheiten des psychischen Geschehens eindrang, um so fester gestaltete sich ihre Überzeugung, daß geistige Vorgänge absolut verschieden sind von physischen, daß beide keinen gemeinsamen Maßstab besitzen. Allerdings darf dabei nicht verkannt werden, daß auch die psychischen Äußerungen der höheren Tiere, die sich am ehesten den seelischen Erscheinungen kleiner Kinder vergleichen lassen, nicht als Ergebnisse rein materieller Vorgänge aufgefaßt werden können.

Man kann die Instinkte und die freieren psychischen Äußerungen auch unterscheiden als angeborene Fähigkeiten, bestimmte Arbeiten unweigerlich auszuführen, und als angeborene Fähigkeiten, Erfahrungen zu erwerben, zu lernen. Der Umfang der ersteren ist im Tierreiche groß, bei Menschen klein; der Umfang der letzteren ist bei den Tieren beschränkt, bei den Menschen anscheinend unbegrenzt. Die erste Gruppe von Vorgängen ist unbewußt, in die letzteren spielt das Bewußtsein mehr oder weniger beherrschend hinein.

Für alle psychischen Eigenschaften gilt aber der gleiche Satz, daß sie in der Fortpflanzung vererbt werden. Auch die edelsten Veranlagungen zu geistigen Betätigungen aller Art hat der Mensch von seinen Eltern geerbt. Das ist im allgemeinen selbstverständlich, im einzelnen gilt es mit gewissen Einschränkungen; so haben geistig hochbedeutende Eltern nicht selten wenig begabte Kinder. Es können sich geistige Fähigkeiten aber auch durch eine Reihe von Generationen erhalten, und andrerseits entspringt nicht selten ein Genie aus einer Familie, in der hohe geistige Begabung bis dahin nicht hervorgetreten war. Es können also geistige Eigenschaften in der Vererbung sich steigern, sich verringern, oder einigermaßen gleich bleiben; so findet man namentlich musikalische Begabung nicht selten in einer Reihe aufeinanderfolgender Generationen der gleichen Familie.

Da aber die Vererbung ihre Grundlage in materiellen Trägern, im Protoplasma und in den Kernen der Keimzellen, hat, so dürfte die Vererbung geistiger Anlagen dafür sprechen, daß die Anfänge der geistigen Entwicklung nicht erst auf einer späteren Stufe der physischen Entwicklung einsetzen, sondern von den ersten Anfängen an die Entwicklung des physischen Organismus begleiten. Dies wäre zwar eine weitere Erhärtung des engen Zusammenhanges der geistigen und körperlichen Eigenschaften des Menschen, doch wird dadurch der Schleier vom Wesen dieses Zusammenhanges nicht hinweg gezogen, vielmehr erscheint er noch dichter, als wenn man lediglich die Beziehung des Geistes zur Großhirnrinde eines erwachsenen Menschen ins Auge faßt.

Bei Pflanzen und Tieren steht die ganze Harmonie der Organisation lediglich im Dienste der Erhaltung des Individuums und der Art. Nur der Mensch schafft und schätzt Kulturwerte, die darüber hinaus liegen, die dem Geistesleben der Menschheit zu gute kommen, die ihr einen Inhalt geben, den tierisches Leben niemals erreicht, die den Menschen erst zum Menschen machen.

Kapitel 15.

Die Abstammungslehre oder Deszendenztheorie.

Aus der Mannigfaltigkeit der Tier- und Pflanzentypen, aus der Vielgestaltigkeit der lebenden und der ausgestorbenen Arten ergibt sich ein Problem, das Problem ihres Zusammenhangs und ihres Ursprungs. Die große Mehrzahl der lebenden Arten hat in früheren Erdperioden noch nicht existiert; die Mehrzahl der in den früheren Abschnitten der Erdgeschichte lebenden Arten ist heute ausgestorben. Setzt man alle diese Organismen nach der äußeren Gestalt ihres Körpers wie nach seiner inneren Struktur zueinander in Beziehung, so entsteht die Frage, ob nicht ein genetischer Zusammenhang besteht zwischen den ausgestorbenen Arten der früheren Erdepochen und den lebenden Arten der Gegenwart. Die Deszendenztheorie oder Abstammungslehre glaubt diese Frage zuversichtlich bejahen zu können.

Wir kennen allerdings kein Beispiel dafür, daß sich im Bereiche unserer Erfahrung eine Art (den Artbegriff in dem Umfange verstanden, wie Linné ihn annahm) oder gar eine Gattung in eine andere umgewandelt hätte: wohl aber zeigen zahlreiche Tatsachen, daß aus einer Art neue Unterarten oder Rassen zu entstehen vermögen, deren Merkmale in der Fortpflanzung sich auf ihre Nachkommen vererben. Wir gelangen damit in das Gebiet der Variation, die Darwin zum Ausgangspunkt seiner Abstammungslehre gemacht hat. Nicht alle bei der Fortpflanzung entstehenden Abänderungen oder Varietäten sind erblich, sondern nur ein Teil derselben ist es. Für die Entstehung solcher erblichen Rassen hat De Vries das freilich in der Paläontologie schon anderweitig vergebene Wort Mutation angewendet. Aus dieser Erfahrungstatsache der Entstehung erb-

licher Rassen hat eine spekulative Naturbetrachtung den Analogieschluß gezogen, daß auch die Arten, die Gattungen und die Familien der Lebewesen ihren Ursprung aus andern Arten, Gattungen usw. genommen haben, wobei die Stammeltern entweder zu Grunde gingen, oder sich neben den Nachkommen erhalten haben sollen. In diesem Sinne, also in bezug auf den Ursprung der Arten und Gattungen, ist die Abstammungslehre nicht das beweisbare Ergebnis der Erfahrung, sondern eine allgemeine Idee, die bei Übertragung auf die einzelnen Typen der Pflanzen- und Tierwelt zahlreiche Hypothesen umspannt. Die Mehrzahl der Biologen ist aber in hohem Maße von der Richtigkeit dieser Idee überzeugt, und ich selbst habe den Grad ihrer Sicherheit dem der geometrischen Axiome verglichen, wonach z. B. die gerade Linie zwischen zwei Punkten den kürzesten Weg bildet. Die Berechtigung der Abstammungsidee auf dem Gebiete der theoretischen Biologie kann umso weniger bestritten werden, als in der Physik und Chemie der Äther, die Elektronen, die Atome, Moleküle und Strukturformeln gleichfalls der unmittelbaren Wahrnehmung unzugänglich sind und, an philosophischem Maßstabe bemessen, nur als Ideen oder Hypothesen bewertet werden können. Physiker und Chemiker halten jene Hypothesen aber für unentbehrliche Bausteine ihrer theoretischen Lehrgebäude.

Wir können die Abstammungslehre somit auch als D e u t u n g des Zusammenhangs der Typen bezeichnen; denn fragen wir nach dem Ursprung der einzelnen Arten und Gattungen im Tier- und Pflanzenreiche, so weiß die Wissenschaft keine bündige, beweiskräftige Antwort darauf zu erteilen. Im allgemeinen zweifeln wir aber nicht daran, daß die lebenden Arten von anderen, ausgestorbenen, z. B. von denen der Tertiärzeit oder der Kreidezeit abstammen. In der Deszendenztheorie verschlingen sich somit Wissen, Mutmaßung und Glaube auf das engste miteinander. Wir glauben an anders gestaltete Vorfahren der lebenden Tiere und Pflanzen, wie wir an Moleküle, an Atome und an Elektronen glauben. Die Erfahrung und das Experiment, denen beiden nur Varietäten und Kreuzungen zugänglich sind, rufen die Phantasie des Naturforschers zu Hilfe, um Abstammungslinien zu ersinnen, deren Möglichkeit

und Wahrscheinlichkeit sich erörtern läßt, und die man durch verschiedenartige Argumente zu stützen sucht.

Solche Argumente sind teils allgemeine, teils von besonderer Art. Das allgemeinste beruht lediglich auf einem Analogieschluß. Wie ein Wirbeltier oder ein Apfelbaum eine individuelle Entwicklung durchmacht, die, mit einer mikroskopischen Einzelzelle beginnend, zum fertigen Organismus vorschreitet, so waren auch die Vorfahren der lebenden Wirbeltiere, Blütenpflanzen usw. in einer ganz frühen Periode der Erdgeschichte einfache Zellen, die sich teils in stammesgeschichtlicher Entwicklung und im Laufe sehr langer Zeiten zu den uns bekannten hochorganisierten Tieren und Pflanzen fortgebildet haben, teils aber auf ihrer einzelligen Stufe stehen geblieben sind. Jene ersten Zellen, aus denen nach der Abstammungslehre alle lebenden und ausgestorbenen Tiere und Pflanzen hervorgegangen sein sollen, nennt man Urzellen. Die Urzellen sind auch für die theoretische Biologie ein Gegebenes. Die Spekulation über die Herkunft der Urzellen scheidet sich in zwei Hypothesen. Die eine nimmt an, daß die Urzellen aus dem anorganischen Material der hinreichend abgekühlten Erdrinde entstanden sind, ein Vorgang, der erfahrungsgemäß in der Gegenwart nicht vorkommt. Die andere Hypothese sucht den Glauben zu wecken, daß die Urzellen aus dem Weltraume auf die Oberfläche unseres Planeten eingewandert seien, ein Vorgang, den die Erfahrung gleichfalls nicht kennt. Wir wollen beide Hypothesen auf sich beruhen lassen und die Urzellen als etwas Gegebenes ansehen, wie auch für den Chemiker die Eigenschaften der Elemente ein Gegebenes sind.

Die Paläontologie kennt keine Erdperiode, in der nur einzellige Organismen gelebt hätten. Denn im Cambrium gab es neben den einzelligen Radiolarien schon hochorganisierte Krebse, Kopffüßer und Armfüßer, im Silur und Devon schon Fische, Farne und Gymnospermen. Der von der Abstammungstheorie geforderte einzellige Urzustand aller Lebewesen muß also lange vor der cambrischen Zeit bestanden haben in einer Phase des Erdballs, von der die Paläontologie nichts weiß, in die nur die Phantasie uns zu versetzen vermag.

Eine erste Frage der Abstammungstheorie ist die, ob nach Erkaltung der Erdoberfläche eine, mehrere oder sehr zahlreiche Urzellen auf derselben erschienen sind. Im ersteren Falle würden von den Nachkommen jener einen Urzelle alle späteren Pflanzen und Tiere abstammen, es würde das die Blutsverwandtschaft aller Lebewesen bedeuten. Indes muß es uns doch sehr unwahrscheinlich dünken, daß nur an dem Schnittpunkt eines einzigen Meridians mit einem einzigen Breitengrade eine einzige Zelle entstanden sei; die Aussicht, daß sie am Leben blieb und zur Vermehrung gelangte, wäre die denkbar geringste gewesen. Waren aber mehrere, etwa ein Dutzend Urzellen gleichzeitig aufgetreten, so kann von einer Blutsverwandtschaft aller Tiere und Pflanzen, wie eine einseitige Spekulation sie annehmen möchte, keine Rede mehr sein. Waren indes die Umstände dem gleichzeitigen Auftreten mehrerer Urzellen günstig, so ist nicht einzusehen, warum nicht Millionen und Milliarden von Urzellen über den ganzen Erdball hin gleichzeitig entstanden sein sollten; dann aber konnte jede dieser Urzellen den Ausgangspunkt einer besonderen Abstammungslinie bilden, und jede lebende oder ausgestorbene Tier- und Pflanzenart wäre auf eine besondere Urzelle zurückzuführen. Diese letztere ist die von Friedmann vertretene Auffassung der Abstammungslehre, wonach die Ähnlichkeit der großen morphologischen Gruppen, wie Insekten, Fische, Vögel, Säugetiere, Moose, Blütenpflanzen usw., teils darin ihren Grund haben soll, daß in verschiedenen Urzellen die Anlage zu ähnlichen stammesgeschichtlichen Typen gegeben war, besonders aber darin, daß äußere Umstände das Konvergieren der Abstammungslinien auf ähnliche Gestalten hin veranlaßt haben. Dieser Konvergenztheorie steht die Divergenztheorie gegenüber, wie sie besonders durch Darwin ausgebildet wurde. Die Divergenztheorie setzt als Ausgangspunkt der Entwicklung einige wenige Urformen, deren Nachkommen sich in verschiedene Arten spalteten, wie wir heute bei der Fortpflanzung einer Art verschiedene Spielarten durch Spaltung entstehen sehen. Die neu gebildeten Arten divergierten weiter, indem lediglich die einander unähnlichsten Formen erhalten blieben, die ähnlicheren Zwischenformen dagegen ausstarben, und durch Wiederholung dieser Vorgänge im Laufe von Jahrmillionen

entstanden schließlich die durch keine Zwischenglieder mehr verbundenen Gattungen, Familien, Ordnungen und Klassen des Tier- und Pflanzenreichs. Während somit die Theorie Friedmanns einem Kornfelde vergleichbar ist, auf dem jede Urzelle einen besonderen Halm und eine besondere Blütenähre hervorbringt, können wir Darwins Theorie einer Gruppe von Bäumen vergleichen, wobei am einzelnen Baume die Hauptäste den Klassen, die Nebenäste den Ordnungen und Familien, die kleineren Zweige den Gattungen, die Endknospen den Arten entsprechen. Und wie die aus letzteren hervorbrechenden Blätter oder Blumen alle unter sich etwas verschieden sind, so zeigen auch die Individuen einer Art mehr oder weniger erhebliche Abweichungen voneinander.

Darwins Divergenztheorie erfreut sich so ziemlich allgemeiner Beliebtheit. Danach würden z. B. alle Wirbeltiere von einem Urwirbeltier, alle Farnkräuter von einem Urfarnkraut, alle Dikotylen von einer Urdikotyle abzuleiten sein. Der Wirbeltierstamm hätte sich dann gespalten in die Äste der Fische, Amphibien, Reptilien, Vögel und Säuger; wobei im Anschluß an die Erfahrungen der Paläontologie die weitere Hypothese hervorgetreten ist, daß die älteren Amphibien aus Fischen, die Reptilien aus Amphibien, die Vögel aus Reptilien hervorgegangen wären. Der Ursprung der Säugetiere bleibt dabei am unklarsten. Nach Ausweis der paläontologischen Befunde lebten in der Trias, dem Jura und der Kreide bereits Beuteltiere verschiedener Ordnungen, während die plazentalen Säugetiere zu Beginn der Tertiärzeit, und zwar mit allen ihren Ordnungen, einsetzen. Daraus wird gefolgert, daß diese Ordnungen der Säuger im Laufe der Kreidezeit aus Beuteltieren hervorgegangen sind.

Von der Pflanzenwelt entwickelt die Divergenztheorie ähnliche Vorstellungen. Während Farne und Gymnospermen schon im Devon vorhanden waren und sich bis in die Gegenwart erhalten haben, treten die ersten Dikotylen, ohne daß man irgend welche Zwischenformen kennt, in der Kreide auf, und im Tertiär sind bereits ihre verschiedenen jetzt lebenden Ordnungen vorhanden, deren Ursprung im einzelnen man so wenig kennt wie den der Säugetier-Ordnungen. Es ist daher lediglich Theorie, wenn man annimmt,

daß zuerst eine Urorchidee, eine Urkomposite, eine Urumbellifere, eine Urcrucifere, eine Urpapilionacee usw. entstand, daß z. B. letztere sich in die verschiedenen Urtypen der Papilionaceengattungen spaltete, und daß aus diesen Gattungs-Urformen die einzelnen Arten nach dem Prinzip der Divergenz entstanden sind. Tatsächlich kennen wir kein einziges Beispiel für solche Entstehung von Gattungen und Arten im lückenlosen Zusammenhange paläontologischer Befunde.

Neben der Divergenz kommt dann aber auch eine mehr oder weniger weit gehende Umwandlung von Arten in unverzweigten Stammlinien in Betracht. Die in Kapitel 13 erwähnten Vorläufer des Pferdes bilden hierfür ein wichtiges Argument. Weil in der Tertiärzeit diese verschiedenen Typen nacheinander auftraten, hat man daraus den Schluß gezogen, daß sie durch Umwandlung auseinander hervorgegangen seien. Dieser Schluß hat viel Verlockendes und liegt im Interesse einer konsequenten Asbtammungslehre. Es darf indes nicht verkannt werden, daß von einem zwingenden Beweise der Abstammung jener verschiedenen Pferdetypen voneinander nicht gesprochen werden darf. Alle jene Vorläufer des Pferdes können auch ausgestorbene Endglieder besonderer Entwicklungsreihen vorstellen, während die wirklichen Vorfahren des Pferdes uns unbekannt geblieben sind. Die Wissenschaft darf nicht weiter gehen, als zu sagen: Jene paläontologischen Vorläufer des Pferdes könnten vielleicht seine stammesgeschichtlichen Vorfahren gewesen sein.

Zu beachten bleibt ferner, daß, die Richtigkeit der Abstammungslehre vorausgesetzt, auch zweifellos Konvergenzerscheinungen in der Umprägung der Typen stattgehabt haben. Die dem Säugetierstamm angehörenden Wale und Robben zeigen in der Umbildung ihrer Extremitäten unzweifelhaft eine Konvergenz zur Körperform der Fische, was mit der Anpassung an das Wasserleben zusammenhängt. Unter den Dikotylen stehen die Familien der Cactaceen, der Euphorbiaceen, der Asklepiadaceen an ganz verschiedenen Stellen des natürlichen Systems. Unter den Cactaceen hat die Gattung Peireskia dünne Stengel und große plattenförmige Blätter, während die meisten Arten blattlos sind und fleischige, oft kugelige, säulenförmige oder prismatische Stämme besitzen. Die

europäischen Arten der Gattung Euphorbia haben dünne Stengel und zarte, plattenförmige Blätter, während in Afrika blattlose Euphorbia-Arten vorkommen, deren fleischige Stämme die verschiedenen Cactaceenformen wiederholen, so daß in nichtblühendem Zustande ein Laie sie mit Kaktusgewächsen verwechseln würde; auch unter den Asclepiadaceen besitzt die Gattung Stapelia fleischige, blattlose, kaktusähnliche Stämme. Die Abstammungslehre setzt voraus, daß die ursprüngliche Gestalt der Zugehörigen dieser Familien in Stengel und Blätter gesondert war, daß aber gewisse Nachkommen von ihnen unter dem Einflusse dürrer Standorte und dürrer, heißer Klimate zur Cactaceengestalt sich umgebildet haben.

Bei alledem bleibt es völlig unerklärt, warum es auch in der Gegenwart so viele einzellige Pflanzen und Tiere neben den vielzelligen, hochorganisierten Lebewesen gibt, warum also ein Teil der Organismen sich fortentwickelt hat, ein anderer auf unvollkommener Bildungsstufe stehen geblieben ist. Auch zeigt die Paläontologie, daß die Entwicklung keineswegs nur eine progressive war, sondern auch zu Verkümmerungsformen geführt hat. Die baumartigen Bärlappfarne (Lepidodendron, Sigillaria) der Steinkohlenperiode waren weit vollkommener organisiert als die heute lebenden kleinen, moosähnlichen Bärlapparten. Auch unter den Tieren verschiedener Klassen haben wir zahlreiche Arten als rückgebildet anzusehen, da ihre Organisation eine Vereinfachung des Haupttypus der betreffenden natürlichen Gruppen anzeigt. Als Beispiel seien die Eingeweidewürmer erwähnt, die des Darmkanals entbehren und ihre Nahrung durch die Körperoberfläche aufnehmen.

Gewiß kann man die Ähnlichkeit der Arten und Gattungen, besonders auch im anatomischen Bau der Tiere, als ein A r g u m e n t für gemeinsame Abstammung ansehen; ein bündiger B e w e i s dafür läßt sich aber damit nicht führen. Die Übereinstimmung der Merkmale schließt auch eine anderweitige Erklärung nicht aus. Man könnte den Grund dafür suchen bereits in ähnlichen Anlagen der Urzellen; man wird bei der Mannigfaltigkeit der Lebewesen überhaupt stets größere und geringere Ähnlichkeiten finden und sie danach klassifizieren, auch wenn kein genetischer Zusammenhang bestehen sollte. Es gibt aber eine Tatsache, für welche die

Wissenschaft keine andere Erklärung zu finden vermag als die eines gemeinsamen Ursprungs; das sind die rudimentären Organe, die sich wohl nur als stammesgeschichtliche Verkümmerung deuten lassen. Wenige Beispiele müssen genügen, um dies darzulegen.

Für die Dikotylen ist typisch, daß auf einen Kreis von fünf Blumenkronenblättern ein Kreis von fünf Staubgefäßen folgt. Die meisten Gattungen der Scrophulariaceen zeigen bei fünf, allerdings verwachsenen und eigenartig ausgestalteten Kronenblättern vier Staubfäden; die Gattung Veronica deren nur zwei. Nun gehört aber zu den Scrophulariaceen auch die Gattung Verbascum mit fünf Staubfäden, und bei mehreren der vier Staubfäden zeigenden Gattungen findet sich an der Stelle, wo das fünfte Staubgefäß stehen sollte, ein kleines, steriles Spitzchen, das als rudimentärer Staubfaden gedeutet wird. Wir nehmen daher an, daß die Gattungen mit vier Staubfäden von denen mit fünf Staubfäden unter Schwinden des einen abstammen. Die Scrophulariaceen-Gattung Gratiola ferner besitzt zwei ausgebildete und zwei rudimentäre Staubfäden; sie wird darum als genetisches Bindeglied zu Veronica gedeutet, und es sei nochmals betont, daß eine andere einleuchtende Deutung sich nicht auffinden läßt. Die Gattungen Monotropa unter den Ericaceen, Orobanche und Lathraea unter den Scrophulariaceen, Cuscuta unter den Convolvulaceen, Neottia und Epipogon unter den Orchidaceen ernähren sich nicht durch Kohlensäureassimilation mittels grüner Laubblätter, sondern nach Art der Pilze als Parasiten oder als Saprophyten. Dabei haben sie nicht nur die Laubblätter, sondern auch den Chlorophyllfarbstoff eingebüßt; ihre Gestalt ist daher, auf die normalen Blütenpflanzen bezogen, eine rudimentäre geworden. Keinem Botaniker würde es aber in den Sinn kommen, diese Gattungen zu einer besonderen einheitlichen Familie zusammenzustellen, sondern man ist überzeugt, daß sie durch Abstammung unter Verkümmerung wichtiger Organe aus einer normalen Gattung der zugehörigen Familie entstanden sind. Zugleich liefert die Ähnlichkeit dieser Pflanzen untereinander wiederum ein Beispiel für das Vorkommen genetischer Konvergenz. Im Tierreich sind rudimentäre Organe sehr häufig. Der in dunklen Höhlen lebende, den

Salamandern verwandte Proteus ist blind; seine Augen sind verkümmert. Auch die Augen des Maulwurfs sind rudimentäre. Parasitische Krebse haben ihre Bewegungsorgane eingebüßt, und in diesem Falle gehört die Verkümmerung sogar dem Bereiche der individuellen Entwicklung an, weil die jugendlichen Tiere im Wasser umher schwammen und sich erst zur unbeweglichen Form umwandelten, nachdem sie die Tiere fanden, an denen sie sich als Schmarotzer anheften konnten.

Neben den rudimentären Organen liefert die Pflanzenklasse der Flechten oder Lichenen eins der stärksten Argumente zugunsten der Abstammungslehre, weil wir wissen, daß sie durch den Zusammentritt eines Pilzes mit einer Alge entstanden sind, während die Ausprägung ihrer Gattungen sich nur aus den Grundsätzen der Abstammungslehre verstehen läßt.

Wenn die Deszendenztheorie einen entwicklungsgeschichtlichen Aufstieg von einfachen Urzellen bis zu Säugetieren mit empfindenden Großhirnrinden annimmt und in dieser Hypothese ein wichtiges zoologisches Problem behandelt, so kann sie, ohne inkonsequent zu werden, auch den Menschen aus dem Kreise ihrer Erörterungen nicht ausschließen. Auch das Dasein des Menschen bildet sowohl ein zoologisches, wie ein erdgeschichtliches Problem, weil der Mensch seinem Körper nach unzweifelhaft in die Reihe der Säugetiere gehört und weil er sicher in den älteren Perioden der Erdgeschichte noch nicht existierte.

Wenn man gesagt hat, daß zu Beginn des Diluviums der Mensch als ein ahnenloses Wesen den Schauplatz der Geschichte betritt, so will diese „Elternlosigkeit“ der ersten Menschen im Munde des Naturforschers nur bedeuten, daß er ihre Eltern, ihre Ahnen nicht kennt. Nur Mutmaßungen gibt es für die Wissenschaft über die Vorfahren der ersten Menschen, und wenn diese Mutmaßungen von einzelnen zu Behauptungen und Lehrsätzen umgeprägt wurden, ward der Boden der Wissenschaft damit verlassen.

Für sämtliche lebende Gattungen der höheren Tiere und der höheren Pflanzen nimmt die Deszendenztheorie an, daß sie in ähnlich gestalteten Typen der Tertiärzeit nicht bloß ihre Vorläufer hatten, sondern daß sich darunter auch ihre Vorfahren befanden, aus denen

sie als echte Deszendenten unter mehr oder weniger weitgehender Umbildung des Körpers sich entwickelt haben. Nun kennt aber die Wissenschaft in keinem einzigen Falle mit Sicherheit die Reihe dieser Vorfahren im Tertiär oder gar in der Kreide und in den älteren Formationen; selbst der Gedanke, daß die tertiären morphologischen Vorläufer des Pferdes seine Vorfahren gewesen sind, ist nur Hypothese, wenn auch eine als wahrscheinlich anzuerkennende Hypothese. In früheren deszendenztheoretischen Arbeiten habe ich die unbekannten, nach Analogie der pflanzlichen und tierischen Embryonen gedachten Stammeltern und Vorfahren der lebenden Arten und Gattungen ihre Phylembryonen, d. h. Stammesembryonen, genannt. Die Formenreihe der einzelnen Phylembryonen würde bis auf die Urzellen der vorcambrischen Erdperiode hinabreichen; mehrere ihrer Stammlinien würden sich in eine vereinigen, soweit ein Vorgang der Spaltung und Divergenz stattgefunden hat. Durch nichts wird der Charakter der Abstammungslehre als einer allgemeinen wissenschaftlichen Idee im Gegensatz zu einer wissenschaftlichen Erfahrung so klargelegt als durch den unanfechtbaren Satz, daß wir von keiner einzigen lebenden Gattung der Säugetiere, Vögel, Blütenpflanzen usw. die Phylembryonen tatsächlich kennen. Und dennoch ist die Macht der Entwicklungsidee eine so gewaltige, daß nur ganz wenige Biologen ihr gegenüber einen ablehnenden Standpunkt einnehmen. Gefordert muß aber werden, daß die Entwicklungsidee mit kritischer Besonnenheit als das aufgefaßt wird, was sie wirklich ist, und daß nicht mit unwissenschaftlicher Voreiligkeit Lehren als Ergebnisse der Naturforschung verkündet werden, in denen es sich tatsächlich um Probleme handelt.

Stellen wir nun die Frage nach den Phylembryonen des Menschen, so lautet die Antwort, daß wir sie nicht kennen, und daß nur spekulatives Nachdenken darüber Mutmaßungen zutage gefördert hat.

Die Zeit liegt noch nicht lange hinter uns, in der auch Naturforscher glaubten, daß die ersten Menschen als fertige Wesen dem Erdboden entsprossen wären. So sagte Goethe zu Martius: „Als die Erde bis zu einem gewissen Punkte der Reife gediehen war, trat die Epoche der Menschwerdung ein, und es entstanden die Menschen

durch die Allmacht Gottes überall, wo der Boden es zuließ, und vielleicht auf den Höhen zuerst."

Heute glaubt die große Mehrzahl der Biologen, daß auch die ersten Menschen gleich den übrigen höheren Lebewesen sich aus unvollkommeneren Phylembryonen entwickelt haben, die selbst noch nicht Menschen waren; allein man kennt diese Phylembryonen der Gattung Homo nicht. Nach den vielen darüber geführten theoretischen Erörterungen kann wohl als Ergebnis gelten, daß die Abstammung des Menschen von einem Menschenaffen der Tertiärzeit als unwahrscheinlich fallen gelassen worden ist. Dagegen glauben manche, daß der Mensch und die lebenden Menschenaffen (Gibbon, Gorilla, Schimpanse, Orang) aus einer gemeinsamen Phylembryonenreihe hervorgegangen sein möchten, und daß auch der in Java fossil gefundene Pithekanthropus erectus sich durch Divergenz aus dieser Wurzel abgezweigt habe. Die körperliche Ähnlichkeit zwischen Mensch und Menschenaffen hat zu dieser Mutmaßung geführt, die aber Mutmaßung bleibt, so lange nicht die Paläontologie Belegstücke für die Richtigkeit der Hypothese liefert. Noch wahrscheinlicher könnte die Annahme dünken, daß schon die Vorfahren der gesamten Affen sich genetisch von den Phylembryonen des Menschen getrennt haben, weil der Fuß des Menschen ein so eigenartiges Organ ist und die Hände der hinteren Extremitäten der Affen bereits eine spezialisierte Anpassung an ein Kletterleben darstellen. Die größere Ähnlichkeit zwischen Mensch und Menschenaffe (mit Einschluß der chemischen Beschaffenheit des Blutes) wäre dann als Konvergenzerscheinung anzusehen. Auch bei solcher Annahme gemeinsamer Phylembryonen von Zweihändern und Vierhändern drängt sich die nicht zu umgehende Frage auf, warum denn nicht alle jene Phylembryonen zu Menschen geworden sind, sondern der größere Teil von ihnen die rein tierischen Gattungen der lebenden Affen hervorgebracht hat.

Da in diesen Erörterungen der Phantasie die entscheidende Rolle zufällt, kann man auch weiter fragen, ob nicht die Abspaltung der menschlichen Phylembryonen von den tierischen auf viel früherer Stufe stattgefunden habe, etwa auf der Stufe der Beuteltiere, wie sie in der Kreide, im Jura und schon in der Trias die Erde bevölkerten.

Man braucht nur anzunehmen, daß von solchen ältesten menschlichen Phylembryonen keine Spuren auf uns gekommen sind, weil es unscheinbare Geschöpfe waren, die für die fossile Erhaltung sich wenig eigneten. Ein gleiches gilt vielleicht von den Phylembryonen aller Gattungen plazentaler Säugetiere, weil letztere so plötzlich und scheinbar unvermittelt zu Beginn des Tertiärs da sind, in der Kreide und im Jura sich aber keine Spur davon findet.

Doch des Deszendenztheoretikers Phantasie kann noch weiter schweifen. Indem sie das Hauptgewicht nicht auf die körperliche Ähnlichkeit legt, sondern den geistigen Unterschied des Menschen von den höchststehenden Säugetieren betont, kann sie die Vorstellung wachrufen, daß die Phylembryonen des Menschen schon an der Wurzel des Säugetierstammes von diesem sich abzweigten; ja, die Möglichkeit ist durch keine wissenschaftliche Dialektik auszuschließen, daß die Stammlinie der Gattung Mensch durch eine Kette unbekannter Phylembryonen hindurch unverzweigt auf eine Urzelle der vorcambrischen Erdperiode zurückführt.

Wie dem auch sein mag, so viel steht fest, daß wir über die Phylembryonen des Menschengeschlechts nichts wissen, und daß nur die konsequente Verfolgung der allgemeinen Entwicklungsidee dahin führt, tierische Phylembryonen des Menschen anzunehmen. Natürlich ist dann in diese Annahme die andere eingeschlossen, daß auch die geistigen Fähigkeiten des Menschen innerhalb dieser körperlichen tierischen Hülle zur stammesgeschichtlichen Entwicklung und Entfaltung gelangten, wobei anzuerkennen ist, daß die hypothetische stammesgeschichtliche Entwicklung des Menschengeistes nicht wunderbarer erscheint als seine individuelle Entwicklung aus der Keimzelle und im Zusammenhang mit unbewußten Zellgeweben, wie sie sich täglich vor unsern Augen vollzieht.

Durch Annahme einer Entwicklung des Menschen aus tierischen Vorfahren wird nichts an der Tatsache geändert, daß der Mensch ein Lebewesen ist, das sich durch seinen Geist und seine Kulturfähigkeit hoch über alle Tiere, auch über die menschenähnlichsten erhebt.

Inhalt.

		Seite
Vorwort		III
Kapitel 1.	Einleitung	1
„ 2.	Die Zelle	10
„ 3.	Bau und Ernährung der höheren Pflanzen; Vergleich mit den Tieren	26
„ 4.	Die Abhängigkeit des Lebens von der Sonne	39
„ 5.	Die Erhaltung des Lebens durch Betriebsenergie	50
„ 6.	Fortpflanzung und Vermehrung	60
„ 7.	Entwicklung und Vererbung	76
„ 8.	Reizbarkeit und Empfindung	86
„ 9.	Die Anpassungen	100
„ 10.	Die Mannigfaltigkeit der Organismen	113
„ 11.	Der Körper der höheren Tiere	123
„ 12.	Pilze und Bakterien als Krankheitserreger	133
„ 13.	Aus der Geschichte der Organismen	144
„ 14.	Der Mensch	154
„ 15.	Die Abstammungslehre oder Deszendenztheorie	167

Verlag von Eugen Salzer in Heilbronn.

Dr. J. Reinke, Professor der Botanik an der Universität Kiel.

Naturwissenschaftliche Vorträge

für die Gebildeten aller Stände. :: 2. Auflage.

Kompl. brosch. Mk. 4.—, geb. Mk. 5.—, in Heften à 1 Mk.

1. Heft: Unser Weltbild. — Die Wahrheit in bezug auf die Abstammungslehre. — Haeckel als Biologe. — 2. Heft: Was wissen wir von der Natur und was können wir von ihr wissen? — Natur und Gottesidee. — Der naturphilosophische Theismus und die Lehren Kants. — 3. Heft: Mechanik und Biologie. — Das energetische Weltbild. — Über die in den Organismen wirksamen Kräfte. — 4. Heft: Das Lebendige und das Leblose. — Die Stellung des Menschen in der Natur. — Im Kampf der Weltanschauungen.

Buchwart: „Zu den allerbesten Arbeiten auf dem Gebiet der Weltanschauungsfragen gehören diese Vorträge. Der Vermischung der Grenzen zwischen Wissenschaft, feststehenden Tatsachen und subjektiven Meinungen, welche Haeckels Bücher so gefährlich für Halbgebildete machen, stellt R. eine präzise Darstellung gegenüber."

Grenzboten: „Ein Büchlein für alle Schulen. Die Vorträge sind für die Gebildeten aller Stände bestimmt, vor allem aber dürfen sie in keiner Mittel- und Volksschulbibliothek fehlen."

Neues vom Haeckelismus.

Eine Antwort und Abwehr. 50 Pfg.

Diese Broschüre ist mehr wie nur eine Antwort und Abwehr, sie ist ein Dokument für die unwahre Kampfesweise der Gegner Reinkes.

J. J. Rousseaus

Glaubensbekenntnis des savoyischen Vikars.

Übersetzt und eingeleitet von **Dr. J. Reinke.**

Brosch. Mk. 1.—, in Pappband Mk. 1.60.

Kirchliche Gegenwart: „Übersetzt, gekürzt und eingeleitet hat Reinke dieses noch immer höchst lesenswerte Buch; wer Reinkes „Die Welt als Tat" kennt, wird sich mancher inneren Ähnlichkeit zwischen ihm und Rousseau bewußt werden: energischer Kampf gegen allen öden Naturalismus und die Welt entgottenden Materialismus, bei Rousseau aber auch gegen jede sogen. Offenbarungsreligion mit ihrem Prävalenzanspruch. Ein wertvoller Anhang enthält ein Stück aus dem Aufsatz des verstorbenen Würzburger Physiologen Adolf Fick über „Religion und Naturwissenschaft" und endlich den Wortlaut der vielangefochtenen Reinke'schen Herrenhausrede vom 1. April 1908. — Man kann das Ganze nur warm für die gegenwärtigen Weltanschauungsdebatten empfehlen." G. Freybe.

Bi
R

569036
Reinke, Johannes
Grundzüge der Biologie für Unterrichts-
anstalten und zur Selbstbelehrung.

University of Toronto
Library

DO NOT
REMOVE
THE
CARD
FROM
THIS
POCKET

Acme Library Card Pocket
LOWE-MARTIN CO. LIMITED